



**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

**SKRIPSI – ME141501**

**INVESTIGASI PENGARUH BUKA TUTUP KATUP INLET PADA  
PENCAMPURAN UDARA DENGAN BAHAN BAKAR PADA GAS DIESEL  
ENGINE ,BERBASIS SIMULASI**

AA  
NRP 04211440000080

Dosen Pembimbing  
Prof. Semin, ST., MT., Ph.D.  
Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2018**





**ITS**  
Institut  
Teknologi  
Sepuluh Nopember

SKRIPSI - ME 141501

# **INVESTIGASI PENGARUH BUKA TUTUP KATUP INLET PADA PENCAMPURAN UDARA DENGAN BAHAN BAKAR PADA GAS DIESEL ENGINE, BERBASIS SIMULASI**

AA

NRP 04211440000080

Dosen Pembimbing

Prof. Semin, S.T., MT., Ph.D.

Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

**SKRIPSI - ME 141501**

# **INVESTIGATION OF INTAKE VALVE LIFT EFFECT ON AIR-FUEL MIXING OF GAS DIESEL ENGINE BASED ON CFD SIMULATION**

AA  
NRP 04211440000080

Supervisors  
Prof. Semin, S.T., MT., Ph.D.  
Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM PERKAPALAN  
FAKULTAS TEKNOLOGI KELAUTAN  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
2018

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## LEMBAR PENGESAHAN

**Investigasi Pengaruh Buka Tutup Katup Inlet Pada Pencampuran Bahan  
Bakar Pada Gas Diesel Engine, Berbasis Simulasi**

### TUGAS AKHIR

Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada

Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AA

NRP. 04211440000080

Disetujui oleh Pembimbing Tugas Akhir :

Prof. Semin, S.T., MT., Ph.D.

NIP 1971 0110 1997 02 1001

Beny Cahyono, ST., MT., Ph.D.

NIP 1979 0319 2008 01 1008

(  )  
(  )

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## LEMBAR PENGESAHAN

### Investigasi Pengaruh Buka Tutup Katup Inlet Pada Pencampuran Bahan Bakar Pada Gas Diesel Engine, Berbasis Simulasi

#### TUGAS AKHIR

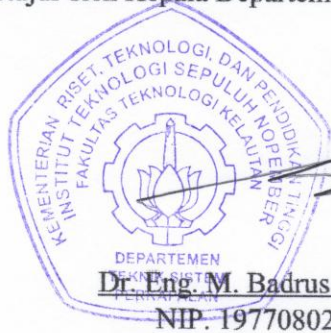
Diajukan Untuk Memenuhi Salah Satu Syarat  
Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada  
Bidang Studi *Marine Power Plant* (MPP)  
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem Perkapalan  
Fakultas Teknologi Kelautan  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh :

AA

NRP. 04211440000080

Disetujui oleh Kepala Departemen Teknik Sistem Perkapalan :



Dr. Eng. M. Badrus Zaman., ST., MT  
NIP. 197708022008011007

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Investigasi Pengaruh Buka Tutup Katup Inlet Pada Pencampuran Udara Dengan Bahan Bakar Pada Gas Diesel Engine ,Berbasis Simulasi**

**Nama Mahasiswa : AA**  
**NRP : 0421144000080**  
**Departemen : Teknik Sistem Perkapalan ITS**  
**Dosen Pembimbing 1 : Prof. Semin, S.T., MT., Ph.D.**  
**Dosen Pembimbing 2 : Beny Cahyono, S.T., MT., Ph.D.**

### **Abstrak**

Penambahan bahan bakar Gas CNG pada mesin diesel konvensional telah menambah efisiensi mesin diesel dan mengurangi konsumsi bahan bakar diesel tanpa harus mengubah dimensi mesin diesel konvensional hanya dengan mengubah berapa konsumsi bahan bakar diesel dengan penambahan bahan bakar diesel. Namun dikarenakan bahan bakar CNG yang akan dimasukkan ke dalam ruang pembakaran terletak pada aliran udara masuk maka perlu adanya Analisa yang mendalam bagaimana aliran udara dan bahan bakar CNG yang tercampur ketika udara masuk dan bahan bakar CNG diinjeksikan dan tekanan yang terjadi pada ruang bakar agar mendapatkan aliran dan massa udara dan bahan bakar yang efisien ketika adanya penambahan bahan bakar gas yang bertekanan. Simulasi aliran udara masuk dan bahan bakar CNG pada mesin diesel modifikasi yang dimodelkan dengan penambahan bukaan katup inlet diharapkan dapat memberikan gambaran umum tentang efek dari angkat katup inlet pada mesin diesel modifikasi dual fuel engine. Dalam penelitian ini digunakan pendekatan CFD (Computational Fluid Dynamic) dengan memvariasikan bukaan katup inlet pada saat keadaan default sebesar 7,28 mm, 3,64 mm, 10,92 mm, dan 14,56 mm. Setelah dilakukan simulasi hasil menunjukkan bahwa pada saat penambahan bukaan katup pada 14,56 mm menunjukkan rata-rata adanya peningkatan kecepatan udara masuk dan peningkatan massa aliran udara dan bahan bakar namun pada bukaan ini adanya penurunan kecepatan rata-rata pada kedua fluida. Namun pada bukaan 10,92 mm didapatkan jumlah massa aliran udara di antara yang lainnya dan memiliki tingkat turbulensi tinggi sehingga pada saat udara dan bahan bakar masuk akan tercampur lebih maksimal.

Kata kunci : Gas Diesel Engine, Buka Tutup Katup, Pencampuran Udara - bahan Bakar, , CFD simulasi.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## **Investigatin Of Intake Valve Lift Effect On Air Fuel Mixing Of Gas Diesel Engine Based On CFD Simulation**

**Name of Student** : AA  
**NRP** : 04211440000080  
**Department** : Marine Engineering  
**Supervisor 1** : Prof. Semin, S.T., MT., Ph.D..  
**Supervisor 2** : Beny Cahyono, S.T., MT., Ph.D.

### **Abstract**

The addition of fuel CNG gas in conventional diesel engines has increased the efficiency of diesel engines and reduces diesel fuel consumption without having to change from conventional diesel engine dimensions by changing how much diesel fuel consumption with the addition of diesel fuel. However, since the CNG fuel to be input into the combustion chamber is placed in the inlet air flow it is necessary to have a deep analysis of how the airflows and CNG fuels are mixed as the air enters and the CNG fuel is injected and the pressure that occurs in space fuel to get the flow and mass of air and fuel efficiently when the addition of fuel gas is pressurized. Simulation of incoming airflow and CNG fuel on modified diesel engines that are modeled with the addition of an inlet valve opening are expected to provide an overview of the effect of inlet valve lift on a dual fuel engine modified diesel engine. In this research, the CFD (Computational Fluid DInamic) approach is used by varying the opening of the inlet valve when the default condition is 7.28 mm, 3.64 mm, 10.92 mm, and 14.56 mm. After simulation results show that at the time of addition of valve openings at 14.56 shows the average of the increase in air velocity and increase the mass of air and fuel flow but at this opening there is a decrease in average velocity on both fluids. But at 10.92 mm openings get the mass of airflow among the others and have a high turbulence rate so that when the air and fuel enter will be mixed more leverage

**Keywords** : Dual Fuel Engine, Valve Lift, Air Fuel Mixing, CFD Simulation.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan kepada Allah SWT, yang selalu melimpahkan rahmat dan kasihNya sehingga penulis dapat menyelesaikan penulisan tugas akhir dengan judul “Investigasi Pengaruh Buka Tutup Katup Inlet Terhadap Pencampuran Udara dengan Bahan Bakar Pada Gas Diesel Engine, Berbasis Simulasi ”. Skripsi berisi analisa pencampuran udara dengan bahan bakar dan camshaft stress berbasis pada simulasi 3D. Skripsi ini diajukan sebagai salah satu persyaratan kelulusan program sarjana strata 1 Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Dalam penyusunan tugas akhir ini penulis telah mendapatkan bantuan dari berbagai pihak. Untuk itu, dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan rasa terima kasih kepada:

1. Kedua orang tua penulis yang selalu mendukung, memotivasi dan mendoakan sehingga penulis mampu berada pada posisi sekarang ini .
2. Bapak Prof. Semin, ST., MT., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir saya yang telah memberi ilmu serta motivasi selama proses pengerjaan.
3. Seluruh Bapak dan Ibu dosen yang telah mengajarkan banyak ilmu selama penulis menempuh pendidikan di Jurusan Teknik Sistem Perkapalan.
4. Seluruh teman-teman Laboratorium Marine Power Plant, Laboratrium Mesin Fluida dan teman-teman angkatan teknik sistem perkapalan 2014 .
5. Kepada pengusaha fotokopy dan printer yang telah membantu mahasiswa selama ini dalam mengeprint laporan.
6. Kepada teman-teman member ANRI O'XHATMI yang telah memberikan motivasi dan dukungan moral selama masa perkuliahan dan selama menyusun laporan.
7. Seluruh pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu, yang telah memberikan dukungan.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu saran sangat dibutuhkan untuk memperbaiki penyusunan tugas akhir ini. Akhir kata, semoga tulisan ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan rekan mahasiswa.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	v
LEMBAR PENGESAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR.....	xiii
DAFTAR ISI.....	xv
DAFTAR GAMBAR.....	xvii
DAFTAR GRAFIK.....	xix
DAFTAR TABEL.....	xix
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	1
1.3 Batasan Masalah.....	2
1.4 Tujuan Penelitian.....	2
1.5 Manfaat.....	2
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Dasar Teori.....	5
2.2 Intake Valve.....	5
2.3 Efek Angkat katup pada aliran udara.....	9
2.4 Aliran Swirl dan Tumble.....	12
2.5 Aliran dan Karakteristik Turbulensi Pada Ruang Bakar.....	14
2.6 CFD (Computational Fluid Dynamic).....	18
BAB III METODE PENELITIAN.....	21
3.1 Perumusan Masalah.....	22
3.2 Studi Literatur.....	22
3.3 Pengumpulan data dan Spesifikasi Mesin Diesel.....	22
3.4 Pemodelan.....	23
3.5 Simulasi Aliran Udara dan Bahan Bakar Menggunakan Software Ansys.....	25
3.5.1 Fluent Flow Analysis.....	25
3.5.2 Geometri.....	25
3.5.3 Meshing.....	26
3.5.4 Solver.....	27
3.5.5 Boundary Condition.....	27
3.5.6 Setup.....	27
3.5.7 Menentukan Fluida Yang di Simulasikan.....	28
3.5.8 Run Calculation.....	29
3.5.8 CFD Post.....	30
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN.....	31
4.1 Hasil Simulasi Udara Masuk dan Pembahasan.....	31
4.1.1 Kecepatan Rata-rata Aliran Udara.....	31
4.1.2 Kecepatan Maksimal Aliran Udara.....	32
4.1.3 Average Turbulance Energi Kinetik.....	39
4.1.3 Intensitas Turbulensi Yang dapat Terjadi di Tiap Tiap Bukaan.....	40
4.1.4 Massa Udara dan Bahan Bakar.....	41

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN .....	44
5.1 Kesimpulan .....	44
5.2 Saran .....	44
DAFTAR PUSTAKA.....	46
LAMPIRAN .....	48
BIODATA PENULIS.....	68

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Over Head Valve Drive (Halderman <i>et al.</i> , 2006).....	6
Gambar 2.2 Katup Intake (Pulkrabek, 2013).....	10
Gambar 2.3 intake silinder mesin dan katup buang .....	11
Gambar 2.4 Skema aliran pada silinder head.....	13
Gambar 2.5 In-cylinder gas flow velocity comparison. ....	17
Gambar 2.6 Skema Simulasi Fluent Flow (Nigro <i>et al.</i> , 2017) .....	18
 Gambar 3.1 Flowchart Pengerjaan .....	22
Gambar 3.2 Data Gas Engine dari GT power.....	23
Gambar 3.3 Pemodelan Valve.....	24
Gambar 3.4 Pemodelan Engine Yanmar. ....	24
Gambar 3.5 Fluid Flow Fluent .....	25
Gambar 3.6 Data Geometri yang diimport .....	26
Gambar 3.7 Hasil Meshing.....	26
Gambar 3.8 Boundary Condition .....	27
Gambar 3.9 Fluent Launcher.....	28
Gambar 3.10 Fluent Setup.....	28
Gambar 3.11 Materi Udara yang Dipilih.....	29
Gambar 3.12 Kalkulasi .....	29
Gambar 3.13 Hasil Kalkulasi Udara dan Methane Masuk .....	30
Gambar 3.14 Hasil Kalkulasi Udara dan Bahan Bakar .....	30
 Gambar 4.1 Aliran udara dengan bahan bakar .....	31
Gambar 4.2 Aliran udara dengan bahan bakar .....	33
Gambar 4.3 Gambar Aliran udara dengan bahan bakar .....	33
Gambar 4.4 Gambar Aliran udara dengan bahan bakar .....	34
Gambar 4.5 Aliran udara dengan bahan bakar .....	35
Gambar 4.6 Aliran udara dengan bahan bakar .....	35
Gambar 4.7 Aliran udara dengan bahan bakar .....	36
Gambar 4.8 Gambar Aliran udara dengan bahan bakar .....	37

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## DAFTAR GRAFIK

Grafik 4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk .....	32
Grafik 4.2 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk .....	32
Grafik 4.3 Kecepatan Maksimal Udara dan bahan bakar masuk Pada RPM 2000 .....	38
Grafik 4.4 Kecepatan Maksimal Udara dan bahan bakar masuk Pada RPM 2200 .....	38
Grafik 4.5 Rata-Rata Turbulen Pada RPM 2000 .....	39
Grafik 4.6 Rata-Rata Turbulen Pada RPM 2200 .....	39
Grafik 4.7 Intensitas Turblensi pada RPM 2000 .....	40
Grafik 4.8 Intensitas Turblensi pada RPM 2200 .....	40
Grafik 4.9 Massa Aliran Udara dan Bahan Bakar pada RPM 2000 .....	41
Grafik 4.10 Massa Aliran Udara dan Bahan Bakar pada RPM 2200 .....	41

## DAFTAR TABEL

Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Diesel anar TF85 MH .....	22
-------------------------------------------------------	----

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Di era yang modern ini mesin diesel masih menjadi tenaga penggerak yang banyak di minati pada kendaraan darat maupun di laut Seperti ang sudah di ketahui motor diesel memiliki keunggulan di bandingkan mesin otto diantaranya mempunyai efisiensi yang tinggi dengan tingkat konsumsi bahan bakar ang relative rendah adapun keuntungan lainnya ukuran mesin sangat solid dan sngat mudah di kendalikan. Pada era ini kebutuhan akan penggunaan motor diesel meningkat pesat dikarenakan pada industry maritime di Indonesia maningkat dari tahun ketahun dan perekonomian bidang non maritime. Dalam bidang maritime sendiri penggunaan motor diesel sendiri adalah untuk menggerakkan propulsi pada kapal, generator untuk supply kelistrikan di kapal dan untuk industry lainnya. Oleh karena itu di butuhkan teknologi untuk mendasain mesin dengan efisiensi yang lebih tinggi dan kuat, salah satu cara ahli teknologi untuk mendesain suatu mesin dengan reverse engineering.(wibowo) reverse engineering sendiri adalah proses menganalisa produk yang sudah da sebelumnya sebagai dasar merancang produk ang sejenis dengan memperkecil kelemahan dan menigkatka keunggula produk..

Pada dasarnya bahan bakar minyak gasoline dan diesel yang di ambil dari perut bumi umumnya akan semakin langka dan kan mahal harganya (hari prstowo). Seiring berjalannya penggunaan bahan bakar alternative akan diminati mulai dari ketersediaannya dan pemakiannya pada mesin pembakaran dalam. sekarang, bahan bakar altrnatif mulai tumbuh karena penggunaan bahan bakar dari fosil secara terus menerus yang mana pada awal dekade penggunaan sangat diminati dan pada waktunya akan berkurang bahkan habis dari perut bumi sepenuhnya. Dan selanjutnya akibat dari penggunaan bahan bakar fosil secara terus menerus ang mengakibatkan habisnya bahan bakar minyak fosil yang mengakibatkan krisis energy dan krisis harga,dan disisi lain Penggunaan bahan bakar minyak fosil membuat polusi yang sangat hebat di momok dunia yang memicu perhatian dunia untuk mencari solusi mereduksi gas buang hasil pembakaran mesin. Compressed Natural Gas adalah salah satu alternatif yang menjadi semakin penting untuk penerapannya. Namun konversi bahan bakar cair ke bahan bakar CNG telah magurangi peforma

### **1.2 Perumusan Masalah**

Dalam melaksanakan kajian tersebut, terdapat beberapa masalah yang dirumuskan agar proses pengkajian dapat dilakukan secara terarah yaitu :

1. Bagaimana kecepatan dan massa aliran udara dan gas CNG pada saat udara masuk pada gas engine 1 silinder akibat valve lift ?
2. Bagaimana kombinasi bukaan valve yang paling tepat pada Gas Diesel Engine engine ?

### 1.3 Batasan Masalah

Agar dapat dilakukan kajian yang lancar dan terarah maka diperlukan beberapa batasan masalah, diantaranya adalah:

1. Analisa kecepatan aliran fluida akan di gunakan software seperti ANSYS .
2. Analisa percampuran bahan bakar gas dan udara.
3. Komponen intake manifold,intake valve, CNG injector, Fuel injector,combustion chamber

### 1.4 Tujuan Penelitian

Dari perumusan masalah diatas maka dapat ditentukan tujuan dari Tugas Akhir ini, yaitu :

1. Mengetahui kecepatan dan massa aliran udara pada saat udara masuk di ruang bakar akibat variasi valve lift.
2. Mengetahui kombinasi bukaan valve yang paling tepat pada *dual fuel engine*

### 1.5 Manfaat

Manfaat yang didapatkan dari dilakukannya kajian berikut adalah:

1. Perhitungan yang dilakukan dapat menjadi gambaran potensi terjadinya tubrukan kapal dan dapat digunakan sebagai informasi tambahan bagi pihak-pihak penyelenggara operasional dan pemanduan lalu lintas pelayaran di Alur Pelayaran barat Surabaya khususnya di sekitar Pelabuhan Tanjung Perak.
2. Kajian yang dilakukan dapat menjadi saran tambahan dalam tindakan pemanduan dan operasi pelayaran di Kesyahbandaran dan Operasional Pelabuhan Tanjung Perak.



## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Dasar Teori**

Motor diesel adalah jenis khusus dari mesin pembakaran dalam karakteristik utama pada mesin diesel yang membedakannya dari motor bakar yang lain, terletak pada metode pembakaran bahan bakarnya. Ditinjau dari cara memperoleh energi thermal ini mesin kalor dibagi menjadi dua golongan, yaitu mesin pembakaran luar dan mesin pembakaran dalam. Dalam hal ini Katup *inlet* adalah salah satu komponen yang berhubungan dengan dampak tersebut. Untuk itu Laboratorium Motor Bakar Dalam dan Getaran Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember bermaksud mendesain sebuah *marine diesel* dengan daya 171 HP 1 silinder dan 4 tak dengan harga yang relative terjangkau oleh kalangan maritim di Indonesia. Keputusan dalam mendesain dan membangun engine baru harus diambil setelah melakukan pertimbangan yang sangat teliti. menyatakan beberapa hal yang diperhatikan dalam desain ini adalah alasan dari desain tersebut jenis bahan bakar yang digunakan kebutuhan daya, tipe pekerjaan yang dilakukan mesin tersebut.

#### **2.2 Intake Valve**

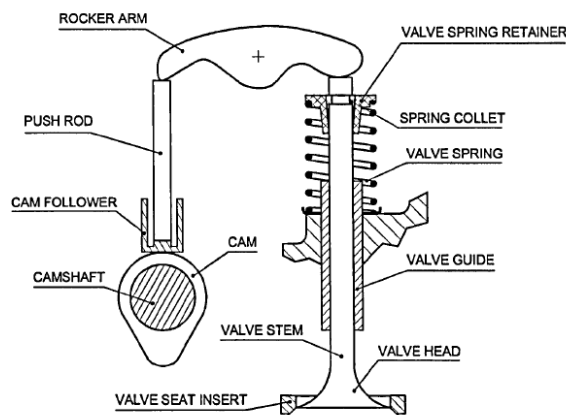
Gas engine didasarkan pada prinsip mesin Otto , dimana penggunaan bahan bakar diesel untuk menyalakan bahan bakar gas sebagai langkah pengapian atau ignition. Pada mesin diesel berbahan bakar gas biasanya gas akan diinjeksikan di pipa saluran udara masuk terlebih dahulu kemudian ketika katup inlet terbuka udara yang telah tercampur dengan gas sebelumnya akan masuk ke dalam ruang bakar. Kemudian saat kompresi sebelum mencapai TMA bahan bakar diesel diinjeksikan pada ruang pembakaran, didalam prechamber gas dipantik oleh bahan bakar diesel yang berfungsi sebagai spark plug kemudian bahan bakar gas akan terbakar bersamaan dengan bahan bakar diesel masuk ke chamber utama atau combustion chamber.

1. Induction Stroke: Katup inlet terbuka. Piston bergerak menuruni gambar silinder dengan muatan udara.
2. Compression Stroke: Katup inlet dan Exhaust tertutup. Piston bergerak ke atas silinder. Saat piston mendekati bagian atas silinder (top dead center - tdc) ignition terjadi. Dalam mesin yang menggunakan injeksi langsung (DI), bahan bakar diinjeksikan menjelang akhir stroke.
3. Expansion Stroke : Pembakaran terjadi menyebabkan tekanan dan kenaikan suhu yang mendorong piston ke bawah. Pada akhir stroke, katup Exhaust terbuka.
4. Exhaust Stroke : Katup Exhaust masih terbuka. Piston bergerak naik sehingga memaksa gas buang keluar dari silinder.

Secara umum, sistem kerja dari penginjeksian bahan bakar gas yang diterapkan pada konverter kit ini adalah :

- a. Bahan bakar gas (CNG) yang berada dalam tabung bertekanan tinggi (200 bar) dikeluarkan dengan menurunkan terlebih dahulu tekanannya dengan menggunakan Pressure Regulator sampai tekanannya sesuai dengan kebutuhan konsumsi bahan bakar.
- b. Setelah dilakukan penurunan tekanan, gas akan dilewatkan ke safety valve dengan tujuan jika ada over pressure gas akan dikeluarkan dari sistem. Safety valve juga dapat difungsikan sebagai emergency stop. valve juga dapat difungsikan sebagai emergency stop.
- c. Katup kedua yang dilewati oleh CNG adalah cut off valve. Fungsi utama dari katup ini adalah sebagai katup on dan off dari sistem ini. Jadi ada 2 katup yang berfungsi sebagai safety system dari konverter kit ini.
- d. Pada sistem ini, flow control berfungsi sebagai pengatur atau pengendali besar kecilnya aliran fluida (debit).
- e. Untuk mengkalibrasi jumlah debit dari CNG, dapat dilihat dengan menggunakan flowmeter yang diletakan setelah flow control ini.
- f. CNG akan masuk kedalam intake manifold bersamaan dengan terbukanya katup timing. Katup timing ini terbuka jika sensor yang dipasang pada flywheel memberi input ke PLC (Programmable Logic Control)

Pada mesin dengan overhead Valve (OHV), camshaft dipasang di blok silinder, atau di kepala silinder dengan overhead Camshaft (OHC). Gambar 2.2 menunjukkan drive OHV di mana katup digerakkan oleh camshaft melalui Cam Followers, Push Rod And Rocker Arms Karena drive ke camshaft sederhana (baik belt atau rantai) dan satu-satunya mesin dalam blok silinder, ini adalah pengaturan gerak yang efektif.



**Gambar 2.1**Over Head Valve Drive (Halderman *et al.*, 2006)

Sebagian besar katup dan tempat duduk katup yang mereka tutup terbuat dari baja paduan keras atau keramik dalam beberapa kasus yang jarang terjadi. Mereka dihubungkan oleh hubungan hidromekanis atau mekanis ke *camshaft*. Idealnya,

mereka akan membuka dan menutup hampir seketika pada waktu yang tepat. Ini tidak mungkin dilakukan dalam sistem mekanis, dan pembukaan dan penutupan lebih lambat diperlukan untuk menghindari keausan, kebisingan. Lobus pada camshaft dirancang untuk memberikan pembukaan dan penutupan yang cepat namun halus tanpa terpental pada antarmuka mekanis. Hal ini membutuhkan beberapa kompromi dalam kecepatan aktuasi katup. Ada berbagai jenis katup yang digunakan oleh manufaktur; beberapa jenis katup yang umum adalah poppet valves, slide valves, rotary valves and sleeve valve (Raghu and Mehta, 1999).

Ukuran port intake tergantung pada laju aliran massa maksimum yang diperlukan pada kondisi pengenal. Perkiraan laju alir pertukaran gas adalah prasyarat untuk perhitungan gerak udara. Kecepatan aliran massa sesaat sehingga diperoleh dari proses pertukaran gas memungkinkan perhitungan tiga komponen kecepatan ortogonal pada pintu keluar katup selama asupan. Metode pengosongan quasi-steady telah digunakan dalam analisis ini. Asupan yang dihasilkan swirl dihitung dengan menjumlahkan momentum sudut akumulasi selama proses asupan. Momentum ini disamakan dengan produk momen inersia isi silinder dan kecepatan sudut swirl dengan asumsi rotasi benda padat dari massa fluida. Ukuran asupan pusaran disebut dalam hal putaran pada penutupan katup intake.

Mesin sebelumnya memiliki camshaft yang terpasang di dekat poros engkol dan katup dipasang di blok mesin. Saat teknologi ruang bakar berkembang, katup dipindahkan ke kepala silinder (katup overhead), dan sistem hubungan mekanis yang panjang (batang penggerak, lengan rocker, tappet) diperlukan. Hal ini diperbaiki dengan juga memasang camshaft di kepala mesin (yaitu, mesin cam overhead). Sebagian besar mesin mobil modern memiliki satu atau dua camshaft yang terpasang di kepala setiap silinder. Semakin dekat camshaft yang terpasang pada batang katup yang lebih besar adalah efisiensi mekanis dari sistem.

Pada banyak mesin baru dengan katup overhead dan ruang bakar cepat bakar, seringkali tidak ada cukup ruang dinding di ruang bakar agar sesuai dengan busi dan katup buang dan masih memiliki ruang untuk katup masuk yang cukup besar untuk memenuhi Persamaan. Untuk alasan ini, kebanyakan mesin sekarang dibangun dengan lebih dari satu katup intake per silinder. Dua atau tiga katup intake yang lebih kecil memberi lebih banyak area aliran dan sedikit hambatan aliran daripada satu katup yang lebih besar, seperti yang digunakan pada mesin yang lebih tua. Pada saat yang sama, dua atau tiga katup intake ini, bersama dengan biasanya dua katup buang, bisa lebih sesuai dengan ukuran kepala silinder yang diberikan dengan jarak yang cukup untuk mempertahankan kekuatan struktural yang dibutuhkan.

Beberapa katup memerlukan kompleksitas desain yang lebih besar dengan lebih banyak kaitan camshaft dan mekanis. Hal ini sering diperlukan untuk memiliki kepala silinder berbentuk khusus dan wajah piston tersembunyi hanya untuk menghindari kontak katup-ke-katup atau katup ke piston. Desain ini akan sulit jika tidak mustahil tanpa menggunakan computer aided design (CAD). Bila dua atau lebih katup digunakan sebagai ganti satu, katup akan lebih kecil dan lebih ringan.

Hal ini memungkinkan penggunaan mata air yang lebih ringan dan mengurangi kekuatan dalam keterkaitan. Katup yang lebih ringan juga bisa dibuka dan ditutup lebih cepat. Kecepatan yang lebih besar dari beberapa katup membayangi biaya tambahan manufaktur dan kompleksitas tambahan dan inefisiensi mekanik(Nigro *et al.*, 2017)

Katup intake biasanya mulai terbuka di suatu tempat antara  $10^\circ$  dan  $25^\circ$  BTDC dan harus benar-benar terbuka oleh TDC untuk mendapatkan aliran maksimal selama stroke intake. Semakin tinggi kecepatan mesin yang dirancang, siklus di awal katup intake akan dibuka. Pada sebagian besar timing katup mesin diatur untuk satu putaran mesin, dengan kerugian terjadi pada kecepatan yang lebih rendah atau kecepatan yang lebih tinggi. Pada kecepatan yang lebih rendah dari kecepatan, katup intake terbuka terlalu dini, membuat tumpang tindih katup yang lebih besar dari yang diperlukan. Masalah ini diperparah karena kecepatan mesin rendah umumnya memiliki tekanan manifold intake rendah. Pada kecepatan desain yang lebih tinggi, katup intake terbuka terlalu terlambat dan arus masuk belum sepenuhnya terbentuk di TDC, dengan kehilangan efisiensi volumetric(Stone, 1989). Mesin mobil beroperasi pada kecepatan yang berbeda, dengan timing katup ditetapkan untuk pengoptimalan hanya dalam satu kecepatan. Mesin industri yang beroperasi hanya dalam satu kecepatan jelas memiliki waktu katup yang ditetapkan untuk kecepatan itu. Mesin mobil modern memiliki tumpang tindih katup yang lebih panjang karena kecepatan operasinya yang lebih tinggi.

Katup intake biasanya selesai menutup sekitar  $40^\circ$  - $50^\circ$  ABDC untuk mesin yang beroperasi pada siklus Otto. Sekali lagi, titik penutupan yang benar dapat dirancang hanya untuk satu putaran mesin, dengan peningkatan kerugian pada kecepatan yang lebih tinggi atau lebih rendah dari pada kecepatan desain. Berbagai cara untuk mendapatkan timing katup variabel sedang dikembangkan untuk mesin mobil. Ini memungkinkan pembukaan dan penutupan katup intake berubah dengan putaran mesin, memberikan efisiensi arus lebih baik dalam rentang kecepatan. Beberapa mesin menggunakan sistem mekanis hidrolik yang memungkinkan penyesuaian hubungan antara camshaft dan katup. Hal ini dilakukan dengan oli mesin dan lubang berdarah yang membutuhkan waktu siklus lebih lama (real time sama) untuk mengubah dimensi keterkaitan seiring kecepatan meningkat. Dengan desain yang tepat, katup intake bisa dilakukan untuk membuka lebih awal dan menutup kemudian saat putaran mesin meningkat.

Katup masukan udara adalah salah satu bagian dari mesin yang berfungsi untuk memasok udara ke dalam ruang bakar mesin, katup udara katup ini akan terbuka pada saat piston akhir langkah buang sampai piston pada saat awal langkah kompresi, Dalam simulasi ini udara di campurkan dengan Compressed Natural Gas (CNG) di intake manifold (di suntikan kedalam silinder)dan di nyalakan dengan sejumlah kecil bahan bakar diesel ketika piston mendekati akhir langkah kompresi (TMA kompresi), yang mana gerak angkat katup akan mempengaruhi aliran udara bercampur CNG. Sistem dimulai pada tangki silinder, dan termasuk pressure regulator, solenoid dan injektor. Injektor tersebut terletak di port intake sebelum

katup intake di setiap silinder mesin. Sistem pengisian bahan bakar CNG dioperasikan menggunakan sistem elektronik (Semin and Bakar, 2008)

Suhu dan tekanan udara masuk dalam intake manifold, gas yang disuntikkan dari injektor dan ruang bakar sebagai kondisi batas model mesin. Rasio bahan bakar udara mesin CNG sangat ideal dari 12,0 sampai 15,0 (Cahyono and Bakar, 2015). Udara murni yang dihisap akan dicampurkan dengan gas, sehingga hanya sedikit volume solar yang dibutuhkan supaya terjadi ledakan. Motor diesel bahan bakar campuran gas kebanyakan menggunakan intake valve untuk memasukan gas bersamaan dengan udara murni. Pengoperasian dengan mode dual fuel ini dapat mengurangi emisi-emisi oksida nitrogen (NO<sub>x</sub>) mendekati 85%. Selain itu, pada saat beroperasi dengan gas alam dan bahan bakar berkadar belerang rendah, motor-motor diesel berbahan bakar ganda menghasilkan level-level kandungan SO<sub>x</sub> dan arang-para nyaris nol.

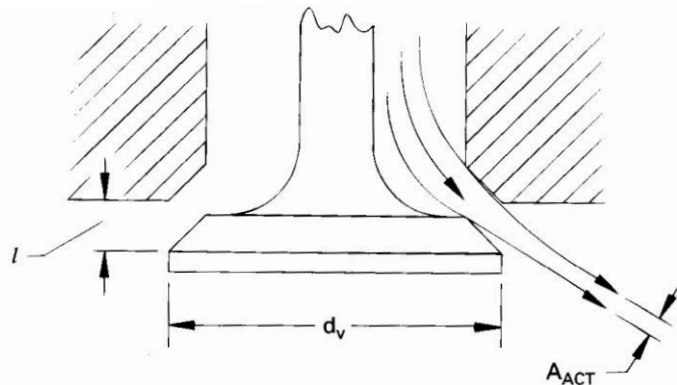
Jika ada gangguan pada injector gas maka mesin diesel akan mengganti pengoperasiannya dari gas menjadi pengoperasian bahan bakar minyak (solar) pada beban berapapun secara otomatis. Selama pengoperasian bahan bakar minyak, motor dual fuel menggunakan proses diesel konvensional. Karena pada dasarnya sistem dual fuel ini adalah motor diesel biasa, maka apabila terjadi gangguan, sistem akan secara otomatis pindah ke diesel konvensional walau motor sedang beroperasi. Modern.

### 2.3 Efek Angkat katup pada aliran udara

Pentingnya Kajian parameter kinerja mesin diesel adalah sifat geometris, istilah efisiensi dan parameter kinerja mesin terkait lainnya. Efisiensi mesin diindikasikan efisiensi termal, efisiensi termal rem, efisiensi mekanik, efisiensi volumetrik dan efisiensi relative (Nigro *et al.*, 2017). Berbagai macam pola geometri port inlet yang digunakan untuk mencapai hal ini di atas kisaran ukuran diesel. Rating mesin biasanya menunjukkan kekuatan tertinggi di mana produsen mengharapkan produk mereka memberikan daya, ekonomi, keandalan dan daya tahan yang memuaskan dalam kondisi layanan. Koefisien port flow mesin diesel untuk debit diskontinuitas aliran tertentu didefinisikan sebagai rasio debit sebenarnya terhadap debit ideal. Di lingkungan mesin, debit ideal mempertimbangkan gas ideal dan prosesnya bebas dari gesekan, tegangan permukaan, dll.

Koefisien debit banyak digunakan untuk memantau efisiensi aliran melalui berbagai komponen mesin dan cukup berguna dalam meningkatkan kinerja ini. Sebuah uji aliran di SuperFlow Flowbench, pengujian aliran terdiri dari hambusan atau pengisapan udara melalui kepala silinder atau komponen lainnya pada tekanan uji konstan. Kemudian laju alir diukur pada berbagai katup angkat. Perubahan bisa dilakukan dan komponennya bisa diuji ulang. Aliran udara yang lebih besar menunjukkan tes perbaikan dilakukan dalam kondisi yang sama, tidak ada koreksi untuk kondisi atmosfer atau variasi mesin yang diperlukan. Hasil investigasi percobaan bisa dibandingkan secara langsung. Untuk pengujian lebih lanjut, Anda

dapat menyesuaikan dan memperbaiki semua variasi sehingga hasil pengujian dapat dibandingkan dengan yang ada pada kepala lainnya, yang diuji dengan kondisi apapun pada flowbench SuperFlow lainnya. Perhitungan lebih lanjut dapat dilakukan untuk mengetahui efisiensi katup dan berbagai panjang port yang direkomendasikan dan timing cam.



**Gambar 2.2** Katup Intake (Pulkrabek, 2013)

Untuk mengukur dan menganalisis aliran udara dan koefisien debit mesin diesel direct injection empat langkah menggunakan analisa simulasi yang disajikan dalam analisa invetigasi ini. Adaptor terdiri dari tabung sekitar 86 mm, panjangnya dengan bore sama seperti mesin dalam 70 mm dan flens pada satu ujungnya. Flens adalah melesat ke tester aliran dan flens atas dilipat atau dijepit ke kepala silinder uji. Flensa harus rata atau gasketed untuk membuat segel kedap udara. Adaptor Jarak tabung mungkin 0,06 inci atau 1,5 mm, lebih besar atau lebih kecil dari silinder mesin diesel yang sebenarnya. Semua data uji coba dapat dicatat pada formulir lembar data pengujian SuperFlow. Sebelum memulai uji coba, catatlah penyiapan data uji. Penyiapan data uji adalah deskripsi kepala, batang katup, diameter katup, luas katup, luas batang dan luas katup bersih. Untuk menghitung luas katup bersih seperti di bawah ini

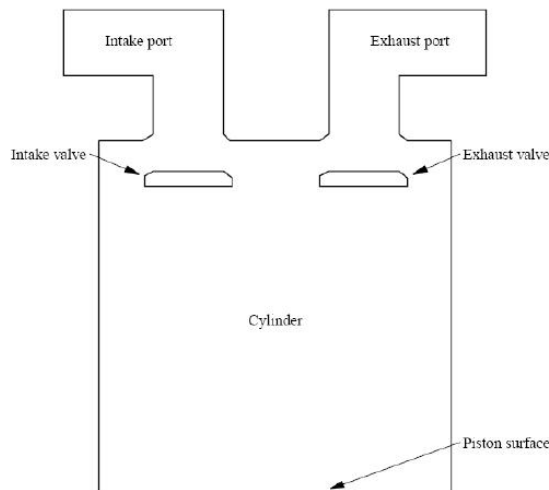
$$\text{Net valve area} = 0.785 \times (\text{valve diameter}^2 - \text{stem diameter}^2) \dots \dots \dots (1)$$

Semua katup mesin diesel dalam pengujian ini harus dilakukan pada rasio yang sama antara katup angkat dengan diameter katup atau rasio  $L / D$ . Perhitungan rasio  $L / D$  sebagai berikut:

$$\frac{L}{D} \text{ rasio} = \frac{\text{valve lift}}{\text{alve diameter}} \dots \dots \dots (2)$$

Fluida di dalam silinder diasumsikan udara, berperilaku sebagai gas ideal. Konstan, kondisi batas nol tekanan diberikan pada intake dan exhaust port berakhir. Cairan yang semula di pelabuhan asupan diasumsikan merupakan spesies yang berbeda yang disebut asupan dengan sifat udara. Demikian pula, port knalpot diisi dengan spesies cairan lain yang disebut knalpot. Konsentrasi batas untuk kedua

spesies juga ditetapkan dengan tepat. Dengan melacak konsentrasi spesies ini, distribusi muatan segar dan gas buang dapat disimpulkan dan parameter global seperti efisiensi volumetrik, dan lain-lain dapat dihitung. Perlu dicatat bahwa model yang digunakan dalam tutorial ini terlalu kasar untuk perhitungan realistis nilai-nilai ini. Lift katup mengikuti kurva yang ditunjukkan pada Gambar 2.4 Pada model ini, katup knalpot terbuka di dalam  $147^{\circ}$  pertama dan ditutup secara linear pada  $282^{\circ}$ . Katup intake mulai terbuka pada suhu  $395^{\circ}$  dan ditutup pada 5.100 (Bag, 2008). Meskipun ini adalah profil yang sangat sederhana, Teknik yang digunakan disini untuk menentukan pengangkatan katup cukup umum dan bisa digunakan untuk setiap angkat profil. Gerakan piston ditentukan dengan menetapkan parameter kinematik standar untuk panjang batang penghubung, radius engkol dan posisi pusat mati bagian atas Spesialisasi dari persamaan di atas ke kelas aliran tertentu melibatkan penerapan ansambel atau waktu rata-rata jika arusnya bergolak, spesifikasi sebuah hubungan konstitutif yang menghubungkan komponen tensor tegangan dengan gradien kecepatan dan spesifikasi sumber, yang mewakili jumlah tubuh dan kekuatan eksternal lainnya, jika ada



**Gambar 2.3** intake silinder mesin dan katb buang

(Semin, Bakar and Ismail, 2008).

Data dibutuhkan untuk membangun model mesin. Daftar informasi yang dibutuhkan untuk membangun model di AUTODESK INVENTOR disertakan di perpustakaan. Tidak semua barang akan dibutuhkan untuk semua model, dan terkadang informasi tambahan akan dibutuhkan, namun daftarnya pada umumnya merupakan titik awal yang baik. Jika model sedang dibangun pada tahap desain awal, menentukan nilai optimal untuk beberapa item yang tercantum mungkin merupakan tujuan dari simulasi. Jika ini masalahnya, atribut tertentu harus didefinisikan sebagai parameter dan dijalankan untuk serangkaian kasus untuk menentukan nilai optimal. Data pada karakteristik mesin adalah rasio kompresi,

urutan penembakan, konfigurasi inline atau V, V-angle (opsional), 2 atau 4 stroke. Data dalam geometri silinder adalah bore, stroke, connecting rod length, pin offset, tinggi piston TDC clearance, geometri mangkuk kepala, area piston dan daerah kepala (Wang *et al.*, 2015).

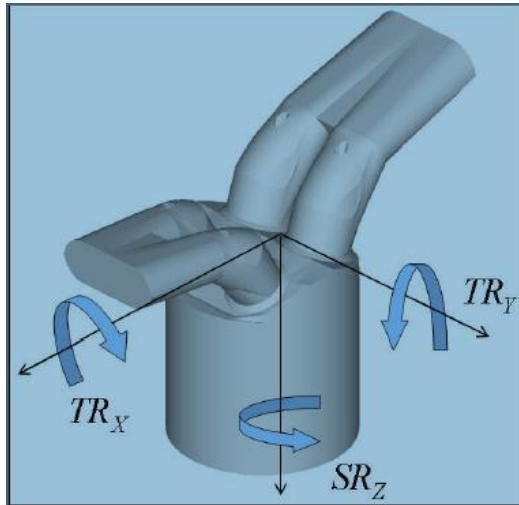
Data dalam sistem intake dan exhaust adalah geometri dari semua komponen. Data dalam throttle adalah lokasi throttle dan koefisien debit versus sudut throttle pada kedua arah aliran. Data injector bahan bakar adalah lokasi dan jumlah injector, jumlah lubang nosel dan diameter nosel, laju injeksi, tipe bahan bakar dan LHV. Data dalam katup intake dan exhaust adalah diameter katup, profil angkat, koefisien debit, katup cambuk. Data di negara sekitar adalah tekanan, suhu dan kelembaban. Data kinerja bisa sangat berguna saat menyeting model setelah sudah dibangun.

Simulasi aliran intake dan exhaust stroke pada silinder mesin menggambarkan beberapa fitur dinamis dan statis, penanganan event, grid bergerak dan pelekatan / pelepasan sel dengan mengatur dan memecahkan masalah port-valve dan piston yang disederhanakan dengan menggunakan dinamika fluida komputasi FLUENT. Masalahnya adalah tiga dimensi dan memerlukan ketelitian dalam menggambar agar bias di running dalam software itu. Simulasi dimulai di pusat dead dead (BDC) dan dilanjutkan untuk interval waktu yang sesuai dengan 3600 revolusi engkol. Sketsa inert dengan sifat fisik udara digunakan untuk melacak intake dan exhaust stream melalui exhaust induction strokes pada silinder mesin. Aliran di silinder mesin bergejolak dan digerakkan seluruhnya oleh gerak piston dan katup. Tekanan batas pelabuhan dipegang konstan pada kondisi sekitar selama simulasi. Desain Mesh dalam masalah dengan jala yang bergerak dan perubahan konektivitas sel didominasi oleh kebutuhan untuk menjaga agar bagian dinamis grid tetap sederhana sehingga mudah diubah saat berjalan sementara. Perumusan gerak jaring dalam masalah tersebut terbagi menjadi dua tahap konseptual.

## 2.4 Aliran Swirl dan Tumble

Aliran udara dalam ruang pembakaran dalam mesin pembakaran internal telah menarik perhatian banyak peneliti otomotif dan ilmuwan di masa sekarang. Proses pembakaran yang optimal di dalam blok mesin sangat penting bagi kinerja banyak kendaraan bermotor (Yadav and Ramesh, 2018). Gerak udara di dalam silinder sering memainkan peran dominan dalam proses persiapan dan pengangkutan campuran bahan bakar di mesin. Produksi intensitas turbulensi tinggi merupakan salah satu faktor terpenting untuk menstabilkan proses pengapian dan percepatan pembakaran, terutama dalam hal pembakaran tanpa menggunakan pematik untuk membakar bahan bakar. Dalam aliran di dalam silinder, kita bisa membedakan antara dua jenis gerak: aliran pusaran yang biasa ditemukan pada mesin diesel dan arus jatuh yang biasa ditemukan di mesin gas. Dalam kedua kasus tersebut, gerak rotasi terjadi pada sebuah poros, meskipun posisi sumbu masing-masing berbeda. Gerak udara di ruang bakar bersifat tiga dimensi





**Gambar 2. 4** Skema aliran pada cilinder head.

(Kurniawan *et al.*, 2007)

Pada perspektif yang lebih luas, gerakan silinder dapat dicirikan sebagai kombinasi pusaran, jatuh ke samping dan jatuh normal. Mereka berkontribusi pada pengembangan performa mesin dengan mempercepat pencampuran bahan bakar dan udara induksi. Oleh karena itu sangat diperlukan untuk pengembangan IC Engine dengan rasio kompresi tinggi untuk mewujudkan intensitas turbulensi yang tinggi dan pembakaran tanpa bakar. Aliran berputar dan jatuh selalu dihasilkan saat tekanan masuk dan kompresi mesin pembakaran internal karena turbulensi yang tinggi pada silinder, Pengaruh swirl dan squish yang dihasilkan ditambah dengan konservasi momentum sudut berputar memberikan kecepatan berputar tinggi di dalam mangkuk piston dan tingkat turbulensi yang tinggi di dekat tempat masuk mangkuk. Untuk menganalisa gerak udara di dalam silinder, rasio berputar dan jatuh, untuk kedua arah sideways dan nominal dihitung untuk setiap derajat putaran engkol dari putaran mesin. Hal ini dilakukan untuk mengetahui perilaku karakteristik medan aliran fluida. Gerakan cairan in-cylinder pada mesin pembakaran dalam adalah salah satu faktor terpenting yang mengendalikan proses pembakaran. Aliran fluida sebelum pembakaran di mesin pembakaran internal dihasilkan selama proses induksi dan dikembangkan selama tekanan kompresi. Oleh karena itu, pemahaman gerakan fluida yang lebih baik selama proses induksi sangat penting untuk mengembangkan desain mesin dengan karakteristik operasi dan emisi yang paling diminati. Pencocokan geometri ruang pembakaran, injeksi bahan bakar dan aliran gas merupakan faktor yang paling penting untuk mencapai pembakaran yang lebih baik.

Aliran berputar dan arus biasanya ditandai dengan parameter berdimensi yang digunakan untuk mengukur gerak rotasi dan sudut di dalam silinder, yang dikenal sebagai rasio berputar dan jatuh. Nilai ini dihitung dengan kecepatan sudut gerak

udara silinder yang efektif yang terbagi oleh kecepatan mesin. Kecepatan sudut yang efektif adalah rasio momentum sudut terhadap inersia momen sudut. Pusat massa udara silinder dalam yang diisi dianggap sebagai asal usul perhitungan. Tiga variabel (pusaran, sideways jatuh, dan rasio jatuh normal) yang diselidiki dalam makalah ini disajikan dalam bentuk non-dimensional dengan menerapkan persamaan sebagai berikut:

$$SR = \frac{60Hz}{2\pi I_x \omega} \dots\dots\dots(3)$$

$$TRx = \frac{60Hz}{2\pi I_x \omega} \dots\dots\dots(4)$$

$$TRy = \frac{60Hz}{2\pi I_x \omega} \dots\dots\dots(5)$$

Dimana,  $H_x$ ,  $H_y$  dan  $H_z$  adalah momentum sudut gas di silinder tentang sumbu x, sumbu y dan sumbu z.  $I_x$ ,  $I_y$  dan  $I_z$  adalah momen inersia tentang sumbu x, sumbu y dan sumbu z, masing-masing. Selain itu,  $\omega$  adalah putaran poros engkol atau putaran mesin pada unit rotasi / menit

## 2.5 Aliran dan Karakteristik Turbulensi Pada Ruang Bakar

Head Tekanan didefinisikan sebagai gaya normal yang diberikan oleh fluida per satuan luas. Kita berbicara tentang tekanan hanya ketika kita berurusan dengan gas atau cairan. Counterpart tekanan dalam padatan adalah stres yang normal. Karena tekanan didefinisikan sebagai gaya per satuan luas, ia memiliki unit newton per meter persegi ( $N/m^2$ ), yang disebut pascal (Pa). Itu adalah,

$$1 \text{ Pa} = 1 \text{ (N/m}^2\text{)} \dots\dots\dots(6)$$

Unit Tekanan pascal terlalu kecil untuk tekanan yang dihadapi dalam praktek. Oleh karena itu, kelipatan nya kilopascal ( $1 \text{ kPa} = 10^3 \text{ Pa}$ ) dan megapascal ( $1 \text{ MPa} = 10^6 \text{ Pa}$ ) yang umum digunakan. Tiga unit tekanan lain yang umum digunakan dalam praktek, terutama di Eropa, bar, standar atmosfer dan kilogram-force per sentimeter persegi:

$$1 \text{ bar} = 10^5 \text{ Pa} = 0.1 \text{ MPa} = 100 \text{ KPa}$$

$$1 \text{ Atm} = 101325 \text{ Pa} = 101.325 \text{ Kpa} = 1.01325 \text{ Bars}$$

$$1 \text{ Kgf/cm}^2 = 9.807 \text{ N/cm}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ N/m}^2 = 9.807 \times 10^4 \text{ Pa} = 0.9807 \text{ bar} = 0.9679 \text{ Atm}$$

Aliran Mampu Mampat

Aliran mampu mampat pada gas sempurna yang mempunyai panas-panas jenis yang konstan dan memenuhi hukum :

$$P = \rho RT \dots\dots\dots(7)$$

Dimana  $P$  adalah tekanan mutlak,  $T$  adalah suhu mutlak,  $p$  kerapatan, dan  $R$  adalah konstanta gas.

#### Aliran Laminer dan Aliran Turbulen

Aliran laminar berdefiniskan aliran dengan fluida yang bergerak dalam lapisan-lapisan, atau lamina-lamina, dengan satu lapisan meluncur secara lancar pada lapisan yang bersebelah dengan saling tukar momentum secara molecular saja. Kecendrungan ke arah kestabilan dan turbulensi diredam habis oleh gaya-gaya geser viskos yang memberikan tahanan terhadap gerakan relatif lapisan-lapisan fluida yang bersebelahan. Namun, aliran turbulen mempunyai gerakan partikel-partikel fluida yang sangat tidak menentu, dengan saling tukar momentum dalam arah melintang yang dahsyat. Sifat pokok aliran yaitu apakah laminar atau turbulen, serta posisi relatifnya pada skala yang menunjukkan pentingnya secara relatif kecendrungan turbulen terhadap kecendrungan laminar ditunjukkan oleh bilangan *reynolds*.

Reynold mendapatkan bahwa kelompok tanpa-dimensi  $ul\rho/\mu$ . Besaran  $u$  ialah suatu kecepatan karakteristik,  $l$  suatu panjang karakteristik,  $\rho$  kerapatan massa, dan  $\mu$  adalah viskositas. Kelompok atau parameter ini disebut bilangan *Reynolds R*.

$$R = ul\rho/\mu \dots\dots\dots (8)$$

Dengan bertitik tolak aliran turbulen didalam tabaung kaca, Reynolds menemukan bahwa aliran selalu menjadi laminar bila kecepatannya diturunkan sedemikian hingga  $R$  lebih kecil daripada 2000. Inilah bilangan Reynolds kritis bawah untuk aliran pipa yang penting artinya dalam praktek. Dengan instalasi pipa yang biasa, aliran akan berubah dari laminar menjadi turbulen dalam daerah bilangan Reynolds dari 2000 sampai 4000.

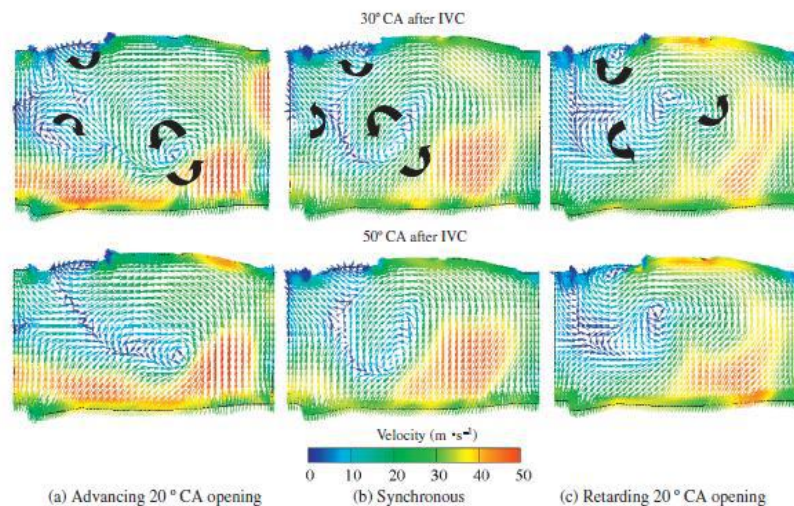
Pada Siklus mesin mesin pembakaran internal dapat di ketahui bahawa terdiri dari empat proses berturut-turut sebagai asupan, kompresi, ekspansi (termasuk pembakaran) dan exhaust. Dari keempat proses tersebut, intake dan compression stroke merupakan salah satu proses terpenting yang mempengaruhi pola struktur aliran udara masuk ke dalam silinder saat intake stroke dan menghasilkan kondisi yang diperlukan untuk injeksi bahan bakar selama dalam tahap langkah kompresi. Gerakan fluida di dalam silinder mesin merupakan salah satu faktor utama yang mengendalikan proses pencampuran dan pembakaran bahan bakar dengan udara pada mesin pembakaran dalam . Ini juga memiliki dampak signifikan pada perpindahan panas. Kedua gerakan cairan curah dan karakteristik turbulensi arus sangat penting untuk menghasilkan struktur homogeneity aliran udara masuk ke dalam silinder. Umumnya, pola aliran in-cylinder awal dibentuk oleh proses asupan dan kemudian dimodifikasi secara substansial selama proses kompresi. Tiga parameter umum yang digunakan untuk mengkarakterisasi pencampuran berskala besar di mesin pembakaran internal adalah pusaran, squish dan jatuh sedangkan pencampuran skala kecil diwakili oleh turbulensi energi kinetik dan turbulensi kinematik viskositas(Yadav and Ramesh, 2018).

Turbulensi di dalam silinder tinggi selama asupan dan kemudian berkurang saat laju alir melambat di dekat pusat mati bawah (BDC). Ini meningkat lagi selama kompresi stroke sebagai pusaran, squish dan jatuh meningkat di dekat pusat mati atas (TDC). Turbulensi yang tinggi di dekat TDC saat pengapian terjadi sangat dibutuhkan untuk proses pembakaran mesin. Ini memecah dan menyebar di depan api berkali-kali lebih cepat daripada nyala api laminar. Baik bahan bakar maupun udara dikonsumsi dalam waktu yang sangat singkat, dimana pengapian dan ketukan diri dihindari. Turbulensi ini diperkuat dengan perluasan silinder mesin selama proses pembakaran. Bentuk ruang bakar yang ditentukan oleh mahkota piston memainkan peran penting dalam memaksimalkan turbulensi untuk mendapatkan campuran komposisi bahan bakar udara sekaligus menghasilkan rasio kompresi yang lebih tinggi.

Dalam arus turbulen, tingkat transfer dan pencampuran beberapa kali lebih besar dari pada tingkat karena difusi molekuler. Difusi turbulen ini dihasilkan dari fluktuasi lokal di bidang aliran. Ini menyebabkan peningkatan tingkat momentum dan panas dan perpindahan massa di dalam silinder, yang penting untuk mendapatkan operasi mesin percikan api yang sesuai. Aliran turbulen selalu disipatif. Tegangan kental menekankan kerja deformasi pada cairan yang akan meningkatkan energi internalnya dengan mengorbankan energi kinetik turbulensinya sehingga energi dibutuhkan untuk menghasilkan turbulensi (Lancefield *et al.*, 2000). Karakter aliran turbulen juga bergantung pada lingkungannya. Pada silinder mesin, aliran melibatkan kombinasi rumit dari lapisan geser turbulen, daerah sirkulasi dan lapisan batas. Alirannya tidak stabil dan mungkin menunjukkan variasi siklus-ke-siklus yang substansial. Gerakan pencampuran bergengsi berskala besar dan berskala kecil merupakan faktor penting untuk mengelola keseluruhan perilaku aliran turbulen di dalam silinder mesin.

Oleh karena itu, pada saat ini, algoritma mesh dan mesh bergerak, termasuk kemampuan gerakan katup dan piston dilakukan untuk mengetahui pengaruh bentuk mahkota piston terhadap medan aliran fluida, karakteristik turbulensi dan homogenitas struktur udara untuk persiapan pencampuran bahan bakar yang terjadi di dalam silinder mesin. Pasalnya, karena aliran fluida dengan ruang bakar berbeda memiliki pengaruh dalam pencampuran bahan bakar udara, dan generasi turbulensi serta memberi dampak besar pada performa mesin. Dua ruang pembakaran yang berbeda dengan geometri realistis yang digunakan untuk mesin injeksi langsung bertekanan gas buang (CNG-DI) akan dipertimbangkan secara rinci untuk perhitungan aliran dalam silinder selama tekanan masuk dan kompresi. Perhitungan numerik dilakukan untuk mendapatkan kondisi optimum yang disebutkan di atas untuk model mesin yang mempengaruhi untuk mencapai pencampuran bahan bakar udara yang lebih baik untuk proses pembakaran yang cepat. Untuk mempelajari pengaruh bentuk ruang bakar terhadap medan aliran fluida untuk mesin tersebut, dua karakteristik pencampuran berskala besar dianalisis secara mendalam untuk mengidentifikasi perilaku arus pusaran dan aliran sepanjang sudut engkol. Untuk

tujuan memeriksa karakteristik turbulensi terjadi di dalam silinder, tiga parameter yang diwakili dari model turbulensi  $k-\epsilon$  untuk bilangan Reynolds tinggi yang dieksploitasi dipertimbangkan dalam makalah ini (Liu *et al.*, 2016). Ketiga parameter yang diamati, yang digunakan untuk mengkarakterisasi pola medan turbulensi adalah turbulensi energi kinetik, laju disipasi turbulensi dan viskositas turbulensi. Dua parameter pencampuran, yang sangat membantu dalam menentukan gerakan kecil turbulensi, adalah turbulensi kinematik viskositas dan produksi energi kinetik turbulensi. Viskositas kinematik turbulen sangat signifikan karena merupakan indikator utama lokasi spasial yang menguntungkan dan tidak menguntungkan untuk kelangsungan hidup struktur koheren berskala besar. Produksi turbulensi energi kinetik juga berguna dalam menangkap lokasi dimana turbulensi sedang dibuat sehingga pencampuran berskala kecil untuk persiapan campuran bahan bakar udara dapat ditingkatkan. Di sisi lain, laju disipasi turbulensi digunakan untuk menentukan skala panjang sebagai representasi turbulensi skala besar.



**Gambar 2.5** In-cylinder gas flow velocity comparison.

(Liu *et al.*, 2016)

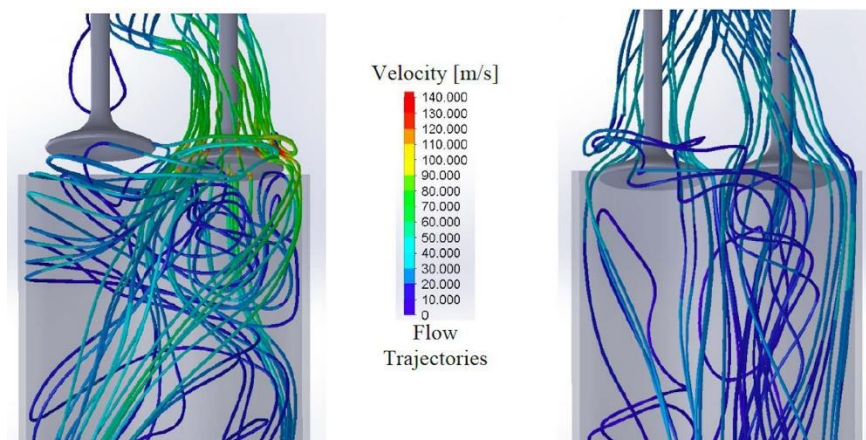
Perhitungan dihitung secara numerik dan dipecahkan analisis transien dari intake dan kompresi stroke untuk mahkota piston di bawah putaran mesin pada 2000 rpm dan dilengkapi kondisi batasnya. Kelima parameter untuk karakteristik aliran fluida dan turbulensi yang diperoleh dari simulasi akan dipertimbangkan untuk memverifikasi homogenitas struktur udara untuk preparasi campuran sehingga campuran bahan bakar dan pembakaran yang lebih baik dapat dicapai. Dalam

pekerjaan ini, tidak ada penyederhanaan model geometri yang dibangun dan perhitungan asupan melibatkan port intake dan katup bergerak sehingga medan aliran dapat dianalisis sepenuhnya. Secara khusus, perbedaan yang diamati untuk dua bentuk mangkuk piston yang berbeda dalam konfigurasi parameter aliran fluida dan karakteristik turbulensi selama tekanan masuk dan kompresi dibahas dan beberapa kesimpulan dapat ditarik keluar. Secara umum, penelitian ini memberikan wawasan tentang pengaruh bentuk mangkuk piston terhadap karakteristik pola struktur udara untuk mesin injeksi langsung (Yadav and Ramesh, 2018).

Model mesin yang dipelajari adalah silinder tunggal khas mesin CNG-DI dengan dua katup intake dan exhaust dilengkapi dengan dua bentuk piston yang dipertimbangkan. Seperti yang disebutkan, dua mahkota piston dipertimbangkan untuk diselidiki (Halderman *et al.*, 2006). Perilaku dan pola medan intensitas berputar, jatuh dan turbulensi terjadi di dalam silinder untuk mendapatkan bentuk piston yang sesuai untuk proses pembakaran mesin tersebut (Ghadikolaei, 2014). Kedua bentuk ini mewakili model geometri mesin sesungguhnya yang biasanya dioperasikan untuk mendapatkan rasio kompresi yang lebih tinggi serta proses pembakaran optimal pada mesin CNG-DI. Piston A memiliki mangkuk di bagian tengah mahkota sementara piston B memiliki volume mangkuk lebih dalam dari piston A dan tidak terletak di tengahnya. (Wang *et al.*, 2015) (Haris Perlman, 1993)

## 2.6 CFD (Computational Fluid Dynamic)

komputasi dinamika fluida (CFD) adalah cabang dari mekanika fluida yang menggunakan analisis numerik dan algoritma untuk memecahkan dan menganalisis masalah yang melibatkan aliran fluida. Komputer yang digunakan untuk melakukan perhitungan yang diperlukan untuk mensimulasikan interaksi cairan dan gas dengan permukaan yang didefinisikan oleh kondisi batas. Dengan superkomputer berkecepatan tinggi, solusi yang lebih baik dapat dicapai. Contoh software CFD dari ANSYS adalah : ANSYS IC ENGINE, ANSYS FLUENT, ANSYS CFX, dan lain-lain.



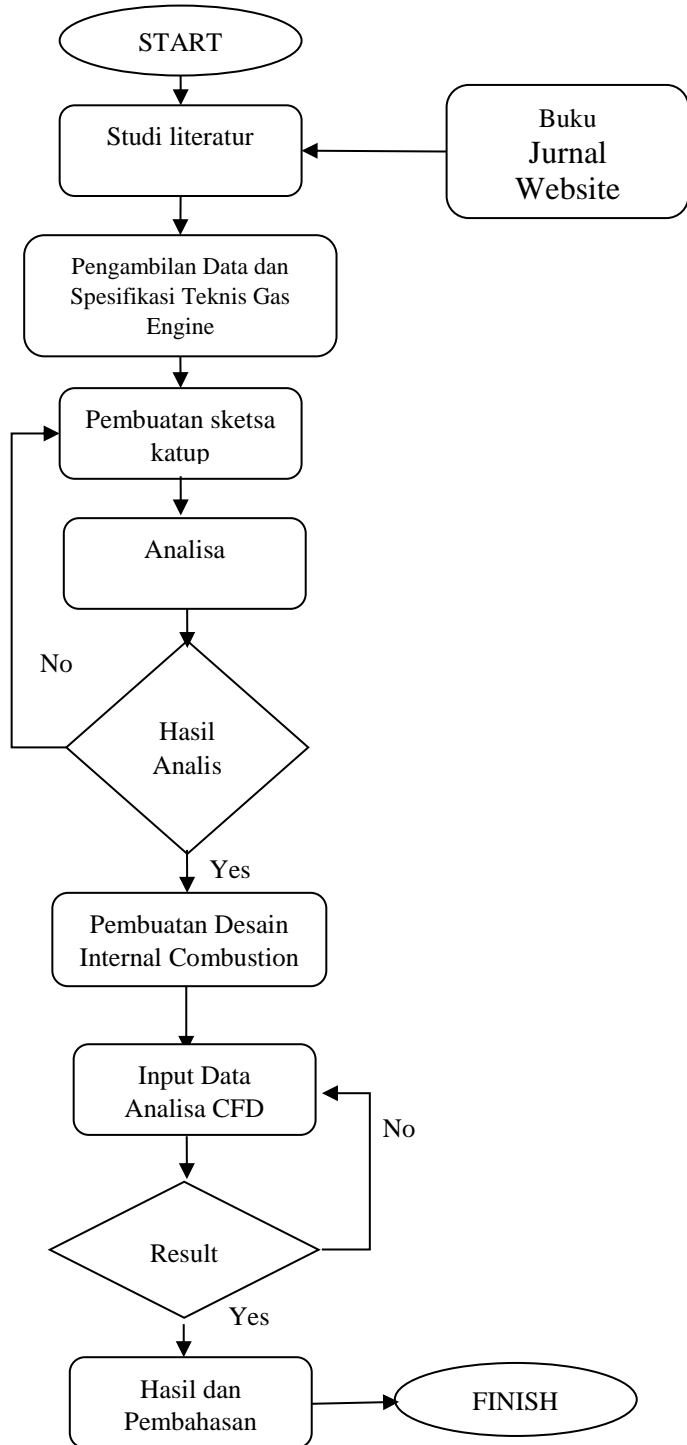
**Gambar 2.6** Skema Simulasi Fluent Flow (Nigro *et al.*, 2017)

Port flow simulation merupakan simulasi fluida masuk pada salah satu port yakni intake dan mengabaikan exhaust pada motor bakar dalam. Fluida masuk selanjutnya akan masuk ke chamber dan keluar pada sisi outlet plenum. Input atau masukkan pada inlet yakni tekanan, temperature dinding atau wall temperature, dan bukaan valve dari model.

*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*



### BAB III METODOLOGI PENELITIAN



### Gambar 3. 1 Flowchart Pengerjaan

Gambar 3.1 merupakan flowchart alur pengerjaan tugas akhir yang menjadi acuan dalam pengerjaan tugas akhir ini yaitu :

#### 3.1 Perumusan Masalah

Pada Dengan berlatar-belakang permasalahan analisa udara masuk dan camshaft stress pada *dual fuel* diesel 1 silinder. Permasalahan yang akan dibahas adalah bagaimana kecepatan, massa aliran udara, stress pada camshaft, dan perbandingan kecepatan, massa aliran udara, dan stress akibat variasi valve lift

#### 3.2 Studi Literatur

Pada tahapan ini yang dilakukan adalah mencari dan mempelajari sumber sumber pustaka yang mendukung penulisan tugas akhir ini seperti; buku buku tugas akhir, jurnal serta internet dan informasi dari dosen pembimbing. Studi literature yang digunakan mengacu pada penggunaan variable valve lift pada engine dan analisa camshaft stress.

#### 3.3 Pengumpulan data dan Spesifikasi Mesin Diesel

Dalam tahapan ini dilakukan pengumpulan data dan spesifikasi mesin diesel yanmar TF85 MH, di Laboratorium Motor Bakar Dalam dan Getaran, Jurusan Teknik Sistem Perkapalan, FTK-ITS .yang mana nantinya akan di gunakan untuk memuat pemodelan secara tepat. Pada pada tuga akhir ini data yang diambil dari Pengukuran adalah katup Inlet ,Intake Manifold, Katup Exhaust, Silinder, dari yanmar TF85 MH. Pengukuran meliputi keseluruhan dimensi katup *inlet* dan Camsaft mesin diesel yanmar TF85 MH

**Tabel 3.1 Spesifikasi Motor Diesel Yanmar TF85 MH**

Rated Power	171 hp @2200 rpm
Bore	85 mm
Stroke	87 mm
Compression Ratio	1:16
Displacement Volume	493 cc
Number of Cylinder	1 Cylinder
Number of Valve	2 Valve
Cooling System	Hopper

**Tabel 3.1 Spesifikasi Mesin Diesel anar TF85 MH**

Pada tahap pengumpulan data dan spesifikasi teknis pada mesin modifikasi gas diesel engine yang mana data yang di dapat akan di gunakan dalam pemodelan dan simulasi. Selain mengukur dimensi dari engine secara langsung perlu menggunakan software guna Pengumpulan data menggunakan aplikasi GT-Power untuk diambil data dimensi engine yang diinginkan. Valve Lift Pada Gas Engine Dengan Berbasis Pada Simulasi Input data lain diambil dari simulasi Software, GT Suites. Data terdiri dari internal Boundari condition sebagai berikut:

Air flow rate : 68.26 m/s

Pressure inside cylinder: 68.232 pascal

Valve overlap : 1.5 mm



**Gambar 3. 2** Data Gas Engine dari GT power

### 3.4 Pemodelan

Setelah seluruh data-data katup input diambil dari Yanmar TF85 MH. Maka mulai drawing katup inlet, clinder head, intake manifold menggunakan *AUTODESK INVENTOR* .Dalam proses harus disesuaikan dengan data yang diambil dari pengukuran. Dalam tahapan ini katup maskan katup didesain dalam bentuk satu dimensi, dan tidak lupa juga menginput material yang digunakan untuk katup. Penginputan material digunakan untuk selanjutnya akan dianalisa aliran udara. Penggambaran ini dilakukan dengan memperhatikan hasil pengukuran komponen dan draft dari desain yang baru. Untuk kepentingan dianalisa dengan ANSYS.

Untuk membuat karakter suatu model maka diperlukan adanya material yang digunakan. Inputan material yaitu dapat berupa mechanical properties (untuk analisa struktur) dan thermal conductivity, temperature, ambient temperature dll

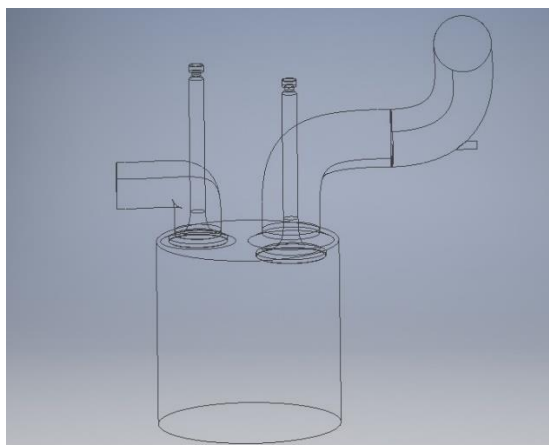
(untuk analisa thermal). Dalam program sudah disediakan beberapa jenis material dan sekaligus sifat-sifat materialnya.

Proses pemodelan dilakukan untuk melakukan penelitian dan menganalisa aliran udara yang terjadi dan camshaft stress ketika variable valve lift digunakan pada engine 1 silinder. Pemodelan dilakukan dengan membuat model internal combustion dan camshaft dari gas engine secara 3D dengan Autodesk Inventor.

Pembuatan model didasarkan pada data engine yang didapat dari GT Power. Penggambaran dilakukan dengan menggambar diameter Bore, penggambaran valve intake, valve exhaust, diameter pipa intake dan penggambaran pipa exhaust.



**Gambar 3. 3** Pemodelan Valve



**Gambar 3. 4** Pemodelan Engine Yanmar.

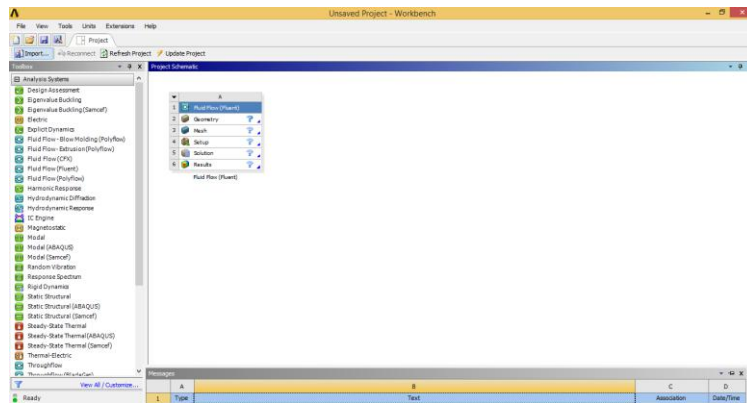
Pada proses ini engine di modelkan menjadi format 3D untuk di simulasikan dan ukuran harus sudah di sesuaikan pada saat penggambaran pemodelan agar pada saat simulasi sama seperti keadaan real dan juga modifikasi valve lift yang akan di gunakan pada proses kalkulasi nantinya yakni **3.64 mm, 7.28 mm, 10.92 dan 14.56 mm** yang nantinya penelitian ini akan dibandingkan kecepatan dan massa aliran udara pada bukaan valve tersebut dan di dapat efek stress dan deformasi yang di terima cam lobe pada tiap bukaan karena pada setiap penambahan bukaan katup akan menambah gaya pada cam lobe dan perlu untuk menganalisa kekuatan material pada camshaft.

### 3.5 Simulasi Aliran Udara dan Bahan Bakar Menggunakan Software Ansys

Model Internal Combustion dari mesin yang telah dibuat pada langkah sebelumnya selanjutnya disimulasikan dengan software CFD yakni ANSYS. Tujuan CFD untuk mengetahui persebaran kecepatan percampuran ketika udara dan bahan bakar dimasukkan ke dalam model

#### 3.5.1 Fluent Flow Analysis

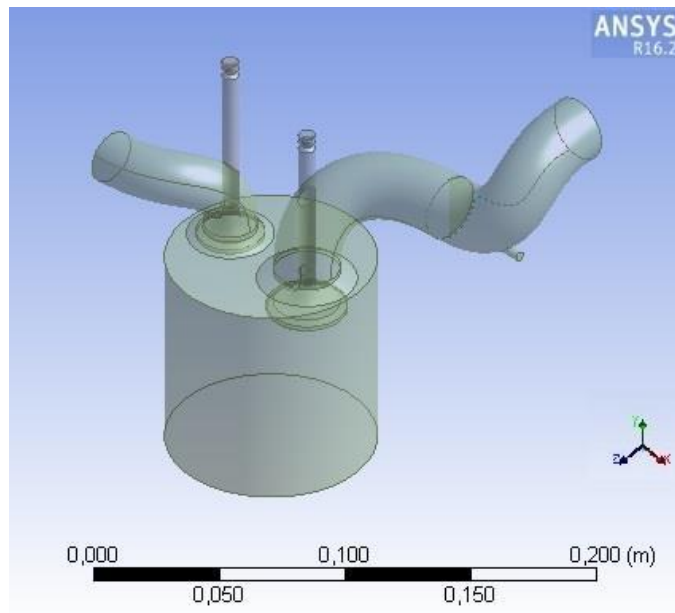
Fluent Flow simulation merupakan langkah analisa fluida dimana dapat memasukan lebih dari satu port yang akan dianalisa yakni pada kondisi udara masuk dan fluida lainnya . Fluent flow Simulation di pilih di karenakan dapat memasukkan dua input fluida yang akan di analisa.



Gambar 3. 5 Fluid Flow Fluent

#### 3.5.2 Geometri

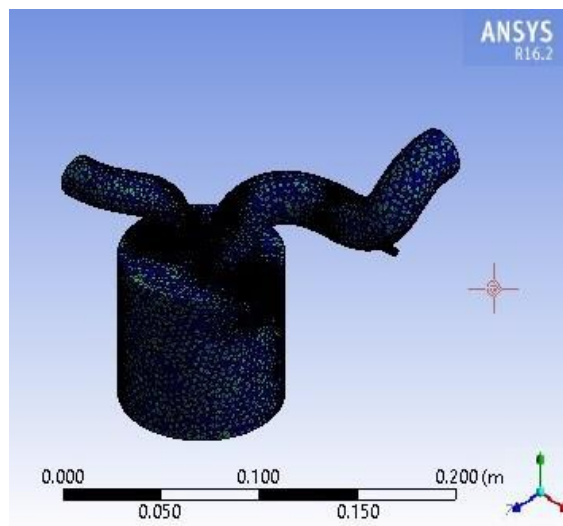
Pada langkah ini merupakan langkah untuk menginput geometri dan mengkomposisi geometri. Pada langkah ini ditentukan dimana fluida akan masuk, dimana udara akan keluar, serta memilih valve untuk intake dan exhaust.



**Gambar 3. 6** Data Geometri yang diimport

### 3.5.3 Meshing

Langkah ini bertujuan untuk membuat luasan-luasan daerah yang akan dijadikan proses perhitungan analisa oleh software. Semakin kecil luasan yang diberikan maka akan semakin detail perhitungan. Namun akan semakin lama pula proses meshing yang akan dilakukan.



**Gambar 3. 7** Hasil Meshing

### 3.5.4 Solver

Proses solver CFD bertujuan untuk melakukan proses pengolahan data dengan perhitungan numerik computer dari semua parameter-parameter yang ditentukan pada domain dan boundary condition.

Pada tahap ini, parameter yang digunakan adalah :

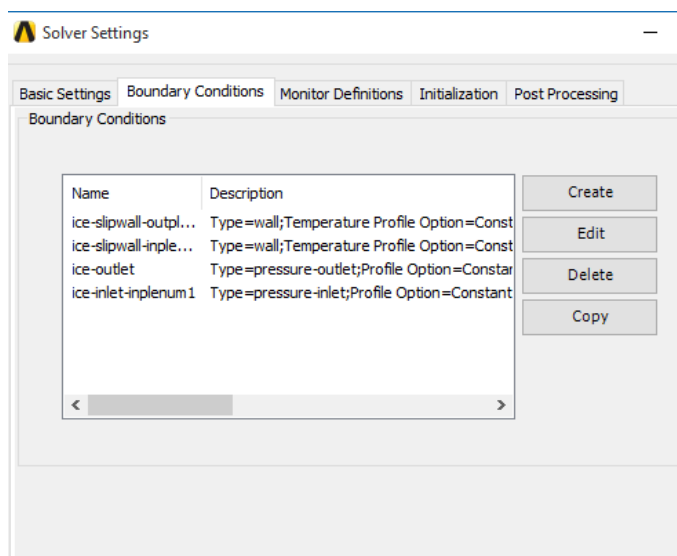
Maksimum iteration : 3000

Timescale control : Automatic time scale.

Iterasi diatas digunakan untuk memperoleh konvergensi, yaitu kesesuaian ( matching ) antara input dan output. Semakin kecil selisih konvergensi maka hasil akan semakin akurat.

### 3.5.5 Boundary Condition

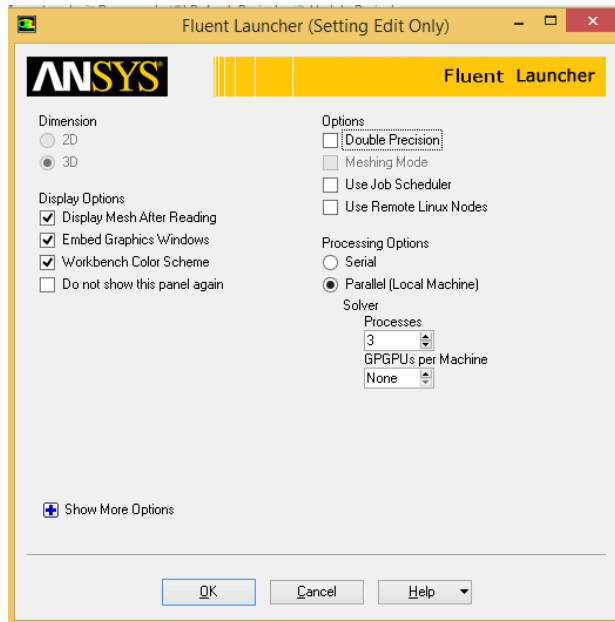
Adalah input parameter dimana keadaan disesuaikan dengan kondisi yang sebenarnya. Parameter input yang digunakan adalah **hasil dari simulasi intake udara** dan bahan bakar yang akan di masukan pada simulasi di sesuaikan dengan hasil yang telah di modelkan pada GT power. Parameter ini didapat dari data GT Power pada Gas engine 1 silinder.



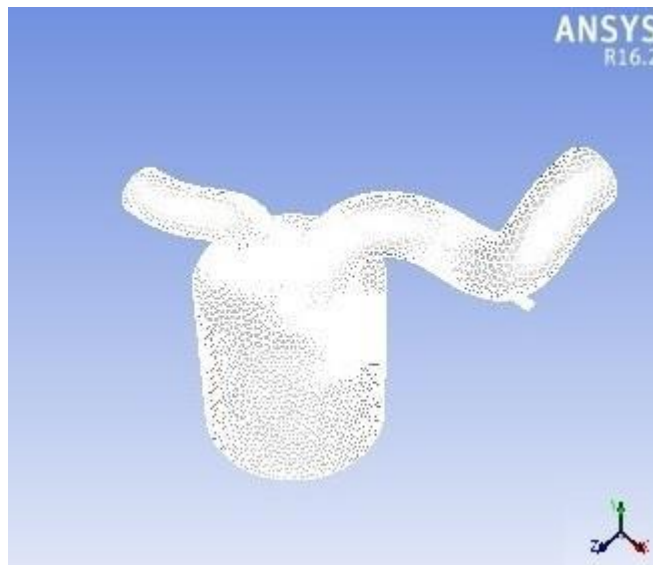
**Gambar 3. 8** Boundary Condition

### 3.5.6 Setup

Setup adalah proses perhitungan atau kalkulasi yang akan diproses oleh software. Pada proses parallel menentukan jumlah prosesor dalam computer, semakin banyak prosesor maka semakin cepat running yang dilakukan. Sebaliknya apabila running menggunakan serial atau satu prosesor akan membutuhkan waktu yang cukup lama.



**Gambar 3. 9** Fluent Launcher

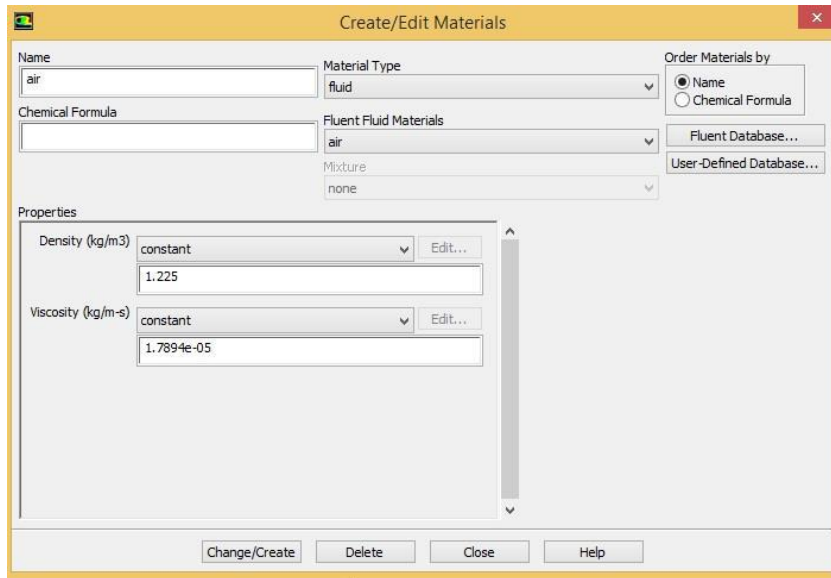


**Gambar 3. 10** Fluent Setup

### 3.5.7 Menentukan Fluida Yang di Simulasikan

Pada simulasi ini dipilih material udara yang masuk adalah gas ideal dengan massa jenis  $1.225 \text{ kg/m}^3$ .

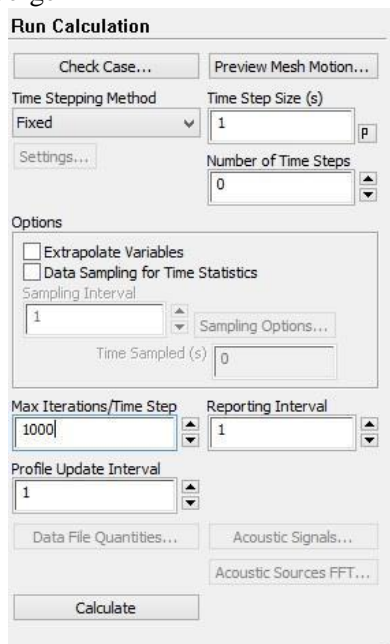




**Gambar 3. 11** Materi Udara yang Dipilih

### 3.5.8 Run Calculation

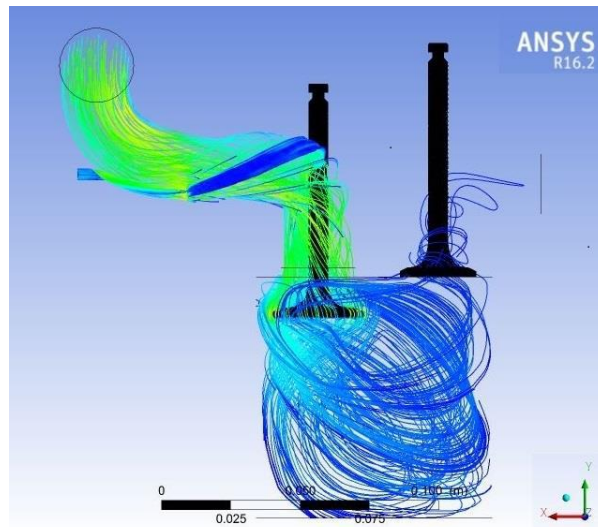
Merupakan perhitungan komputer guna menganalisa aliran fluida melalui inputan yang telah dimasukkan sampai iterasi selesai dilakukan sehingga diperoleh data yang konvergen



**Gambar 3. 12** Kalkulasi

### 3.5.8 CFD Post

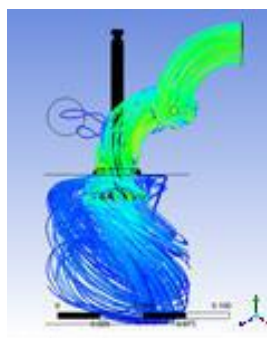
Tahap post ini bertujuan untuk menampilkan hasil pengolahan data yang telah dilakukan pada proses running. Hasil yang diperoleh dapat berupa data numerik maupun data visual. Data yang diperoleh akan digunakan sebagai analisa kecepatan dan massa aliran udara ketika udara masuk sesuai dengan variasi bukaan valve.



**Gambar 3. 13 Hasil Kalkulasi Udara dan Methane Masuk**

Dari simulasi maka akan menunjukkan Contour Velocity atau kontour kecepatan menampilkan bagaimana aliran yang akan terjadi pada gambar pemodelan , maka akan di ketahui bagaimana pola aliran udara dan bahan bakar saat memasukirang bakar .

Kemudian untuk mengetahui hasil kecepatan rata-rata dan massa aliran udara yang terjadi dapat dilihat pada *function kalkulator* untuk mengetahui besaran kecepatan dan massa aliran udara yang terjadi. Data yang diperoleh merupakan kecepatan rata-rata dan massa aliran udara rata-rata.

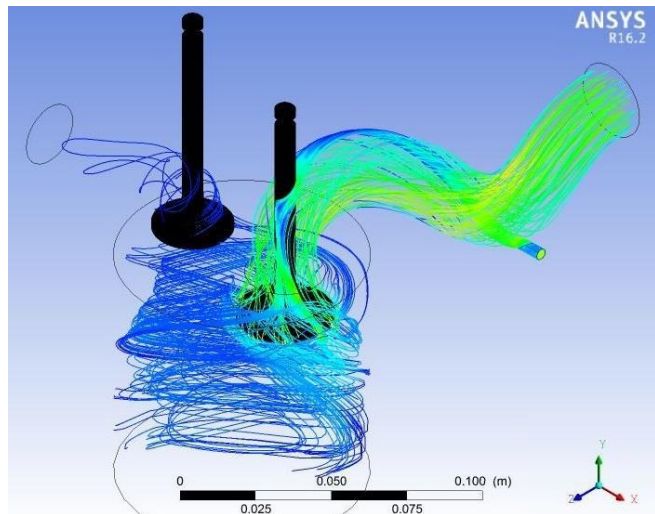


**Gambar 3. 14 Hasil Kalkulasi Udara dan Bahan Bakar**

## BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN

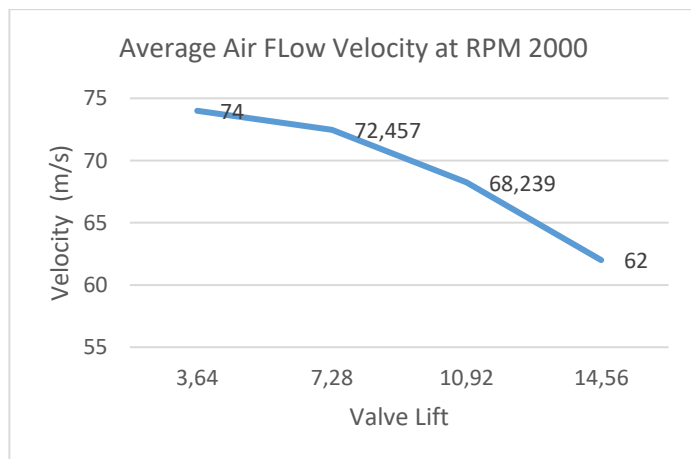
### 4.1 Hasil Simulasi Udara Masuk dan Pembahasan

#### 4.1.1 Kecepatan Rata-rata Aliran Udara



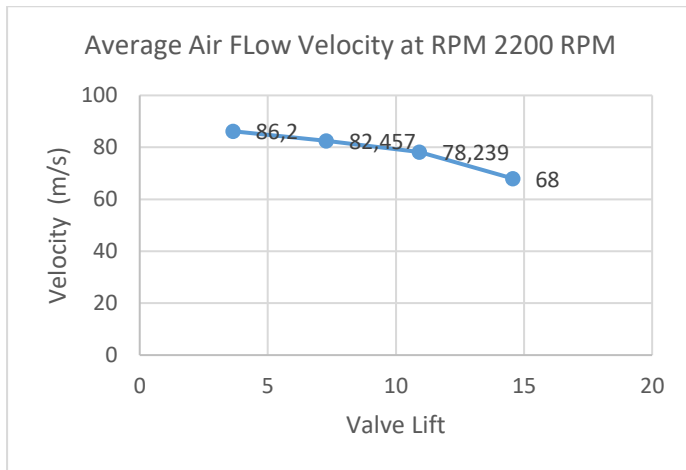
**Gambar 4. 1 Aliran udara dengan bahan bakar  
pada 10.922mm RPM 2000**

Kecepatan rata-rata aliran udara pada RPM 2000 di gambarkan dengan grafik di bawah ini.



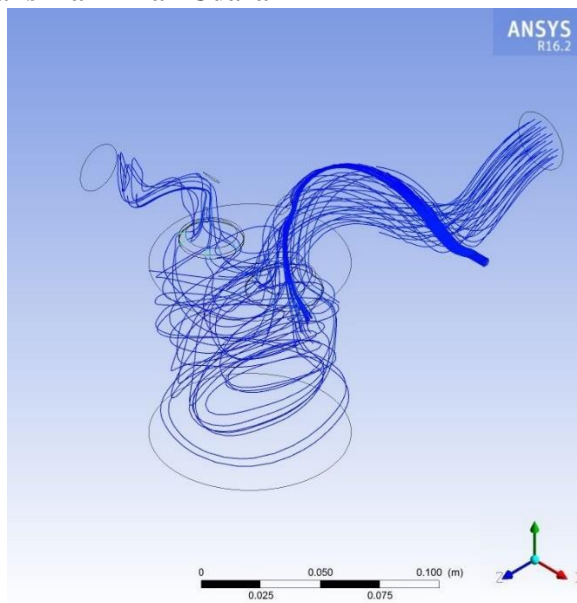
**Grafik 4.1 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk**

Kecepatan rata-rata aliran udara pada RPM 2200 di gambarkan dengan grafik di bawah ini.

**Grafik 4.2 Kecepatan Rata-Rata Udara Masuk**

Dari grafik dapat diketahui bahwa penambahan bukaan valve yang semakin dalam memengaruhi kecepatan udara masuk. Semakin dalam bukaan valve semakin cepat pula aliran udara rata-rata yang masuk kedalam chamber. Pada bukaan valve lift 3.64 mm dapat mencapai kecepatan udara rata-rata 74 m/s. Namun mengalami penurunan pada bukaan valve 14.56 mm menjadi 62 m/s.

#### 4.1.2 Kecepatan Maksimal Aliran Udara

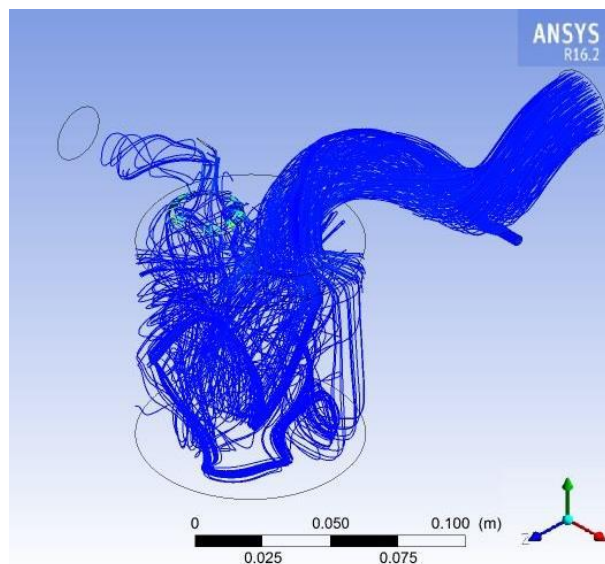


#### **Gambar 4. 2 Aliran udara dengan bahan bakar**

pada 3,64 mm RPM 2000

Dari hasil simulasi bukaan 3,64 mm pada rpm 2000 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan baker yang sudah memasuki ruang bakar, Dapat di lihat dari gambar 4.2 mennjukan bahwa aliran dara dan bahan bakar sangat sedikit di karenakan pada bukaan ini katup membuka dan menutup sangat singkat.

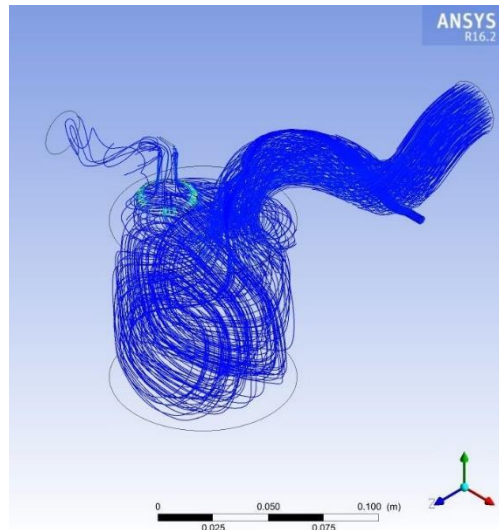
Dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai



**Gambar 4. 3 Gambar Aliran udara dengan bahan bakar**

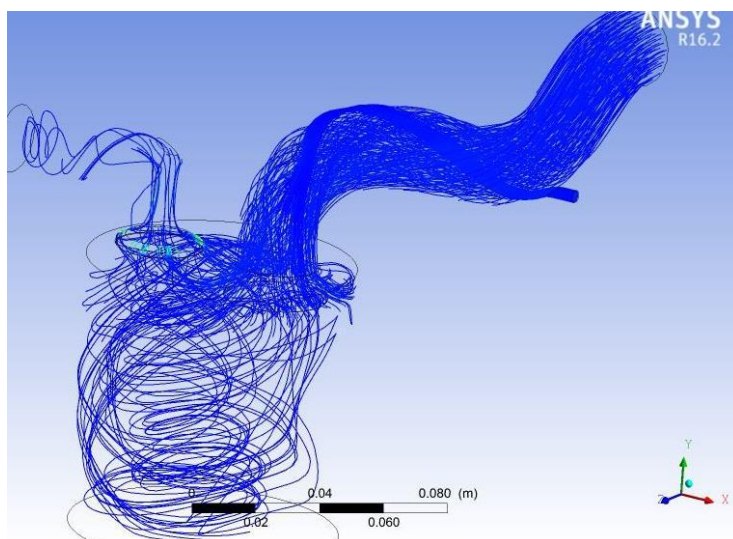
**pada 3,59mm RPM 2200**

Dari hasil simulasi bukaan 3,64 mm pada rpm 2200 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan bakar yang sudah memasuki ruang bakar, Dapat di lihat dari gambar 4.3 mennjukan bahwa aliran dara dan bahan bakar kurang menunjukkan tingkat turbulensi yang tinggi.



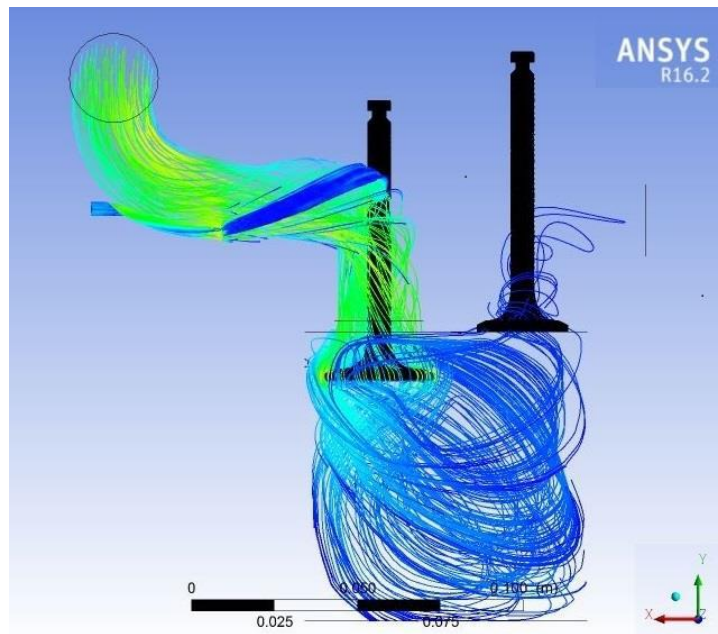
**Gambar 4. 4 Gambar Aliran udara dengan bahan bakar  
pada 7,28 mm RPM 2000**

Dari hasil simulasi bukaan 7.28 mm pada rpm 2000 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan bakar yang sudah memasuki ruang bakar, Dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai. Dapat di lihat dari gambar 4.4 mennjukan bahwa aliran pada bukaan ini menujukkan aliran lebih tumbel pada saat udara dan bahan bakarmemasuki ruang bakar.



**Gambar 4. 5 Aliran udara dengan bahan bakar**  
**pada 7,28 mm RPM 2200**

Dari hasil simulasi bukaan 7,28 mm pada rpm 2200 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan bakar yang sudah memasuki ruang bakar, Dapat di lihat dari gambar 4.5 mennjukan bahwa aliran udara dan bahan bakar menunjukan pola aliran yang tingkat turbulensina lebih baik di bandingkan dengan aliran pada saat bukaan katup pada saat 3,59 di karenakan pada bukaan ini katup membuka dan menutup sesuai dengan keadaan originalna . Dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai

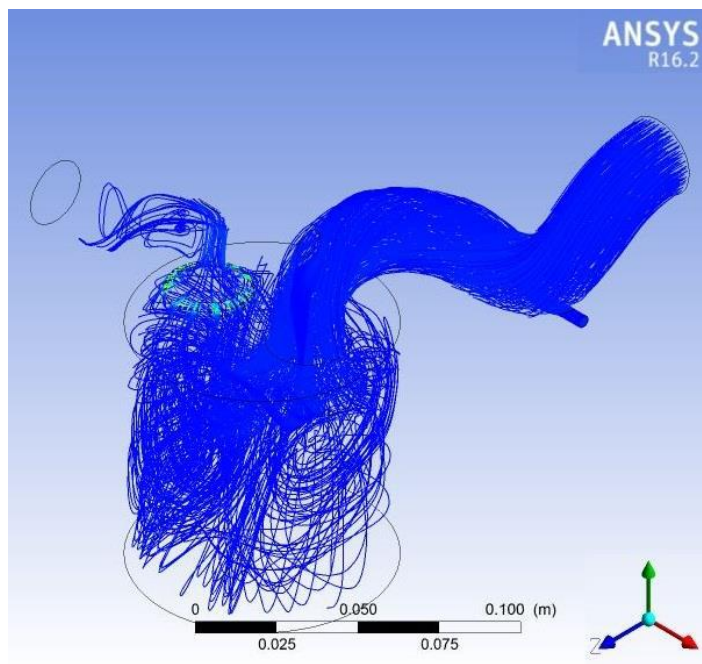


**Gambar 4. 6 Aliran udara dengan bahan bakar**  
**pada 10,92 mm RPM 2200**

Dari hasil simulasi bukaan 10,92 mm pada rpm 2200 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan bakar yang telah masuk ke ruang bakar, Dapat di lihat dari gambar 4.6 mennjukan bahwa aliran udara dan bahan bakar menunjukan pola aliran yang tingkat turbulensina lebih baik di bandingkan dengan aliran pada saat bukaan katup pada saat membuka pada fase ini di karenakan pada bukaan ini katup membuka dan menutup lebih lama dengan



keadaan originalnya dan dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai. Dari hasil simulasi bukaan 10,92 mm pada di ke dua RPM Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan bakar yang sudah memasuki ke ruang bakar, Dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai. Dapat di lihat dari gambar 10.92 mennjukan bahwa aliran pada bukaan ini menunjukan aliran lebih turbulen pada saat udara dan bahan bakarmemasuki ruang bakar

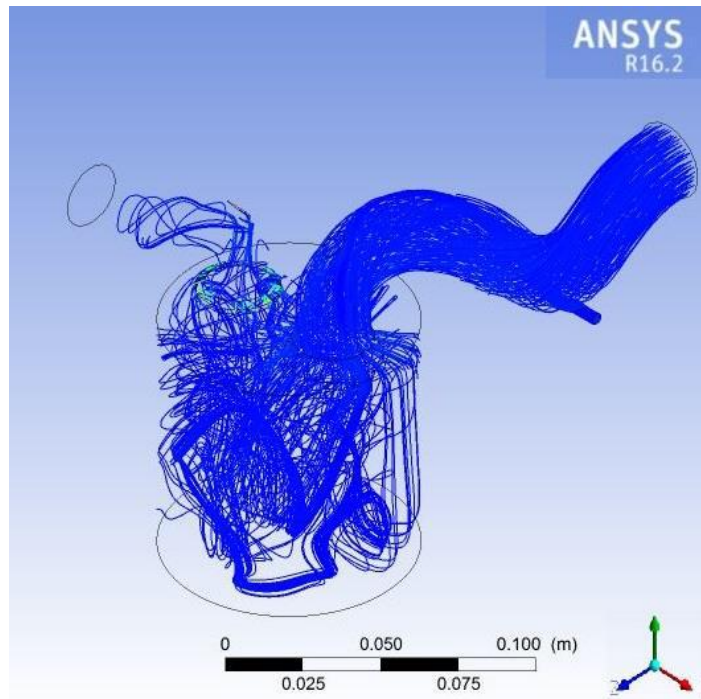


**Gambar 4. 7 Aliran udara dengan bahan bakar  
pada 14,56 mm RPM 2000**

Dari hasil simulasi bukaan 14,56 mm pada rpm 2000 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan baker yang sudah memasuki ruang bakar, Dapat di lihat dari gambar 4.7 menunjukan bahwa aliran udara dan bahan bakar menunjukan pola aliran yang tingkat turbulensina lebih rendah baik di dibandingkan dengan aliran pada saat bukaan katup pada saat 14,56 di karenakan pada bukaan ini katup membuka dan menutup lebih lama dan membuka lebih lebar dengan keadaan originalnya . Dari Contour Velocity atau



kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai

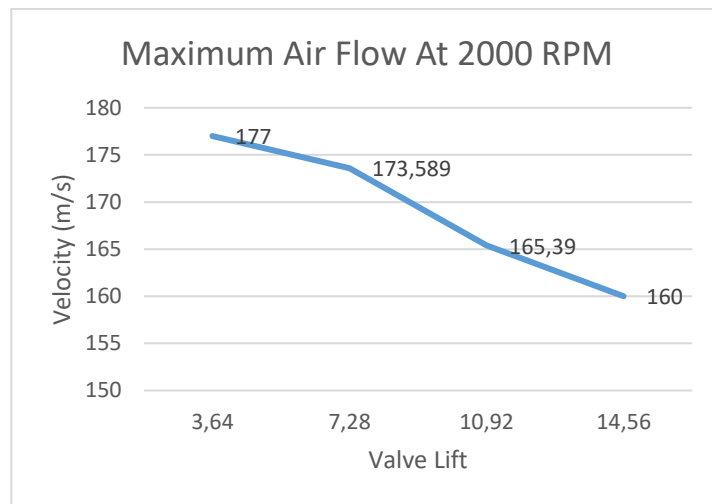


**Gambar 4. 8 Gambar Aliran udara dengan bahan bakar  
pada 14,56 mm RPM 2200**

Dari hasil simulasi bukaan 14,56 mm pada rpm 2200 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan baker yang sudah memasuki ruang bakar, Dapat di lihat dari gambar 4.8 mennjukan bahwa aliran udara dan bahan bakar menunjukan pola aliran yang tingkat turbulensina rendah baik di bandingkan dengan aliran pada saat bukaan katup pada saat 14,56 pada RPM 2000 di karenakan pada bukaan ini katup membuka dan menutup lebih lama dan berdasarkan buka tutup katup inlet lebih singkat. Dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai. Dari hasil simulasi bukaan 14,56 mm pada rpm 2000 Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan aliran udara dengan bahan baker yang sudah memasuki ruang bakar, Dari Contour Velocity atau kontur kecepatan menampilkan warna dimana warna biru tua sampai biru muda adalah kecepatan

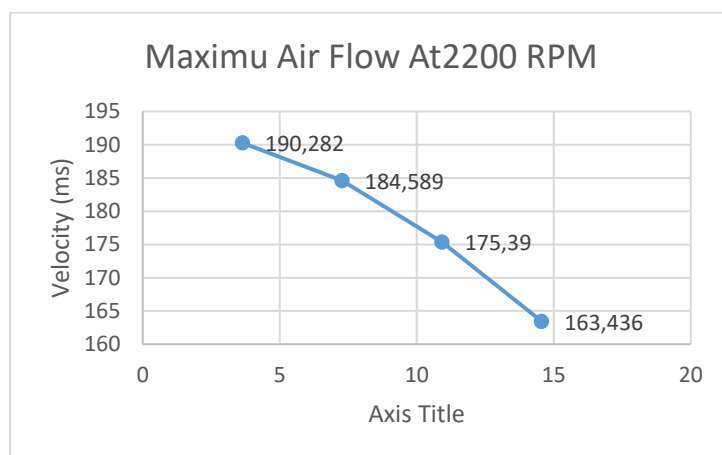
fluida rendah, warna hijau merukan kecepatan menengah, dan orange sampai merah merupakan kecepatan tinggi atau maksimal yang dapat dicapai. Dapat di lihat dari gambar 14,56 mennjukan bahwa aliran pada buakaan ini menunjukan aliran lebih mengmpul pada saat udara dan bahan bakarmemasuki ruang bakar

Data Kecepatan maksimal pada saat memasuki ruang bakar pada 2000 RPM



**Grafik 4.3 Kecepatan Maksimal Udara ban bahan bakar masuk Pada RPM 2000**

Kecepatan Maksimal pada saat memaski ruang bakar pada 2200 RPM

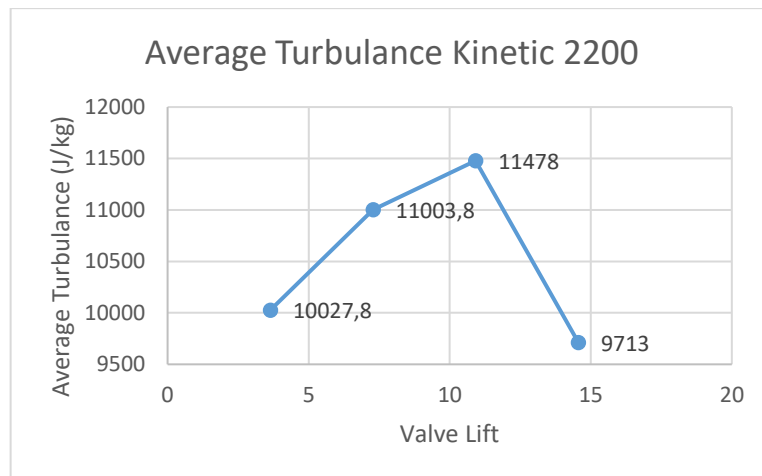


**Grafik 4.4 Kecepatan Maksimal Udara dan bahan bakar masuk Pada RPM 2200**

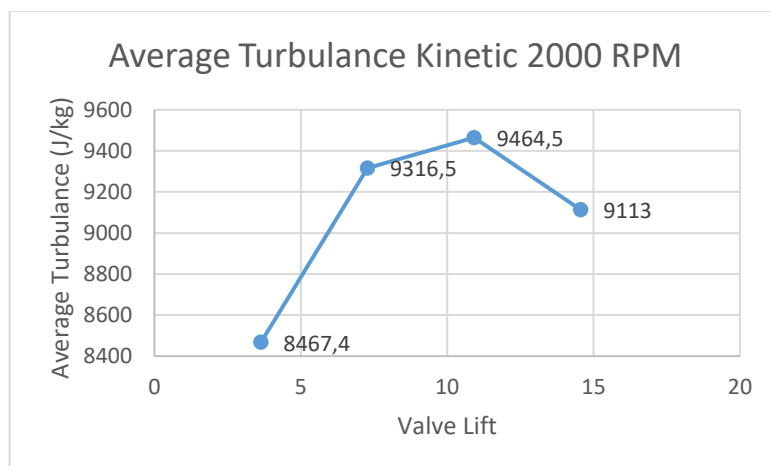
Dari grafik diketahui bahwa pengaruh bukaan valve yang semakin dalam mempengaruhi kecepatan maksimal yang dapat dicapai oleh udara dan bahan bakar. Semakin tinggi bukaan valve maka kecepatan maksimal udara akan semakin turun. Hal ini sesuai dengan hukum kontinuitas  $A_1 v_1 = A_2 v_2$ . Dimana bukaan valve yang semakin dalam menghasilkan celah bukaan luasan yang lebih besar yang dapat menurunkan kecepatan aliran udara.

#### 4.1.3 Average Turbulance Energi Kinetic

Dari hasil tersebut, dapat diperoleh hasil perhitungan simulasi untuk energi kinetik turbulensi rata-rata.



**Grafik 4.5 Rata-Rata Turbulen Pada RPM 2000**

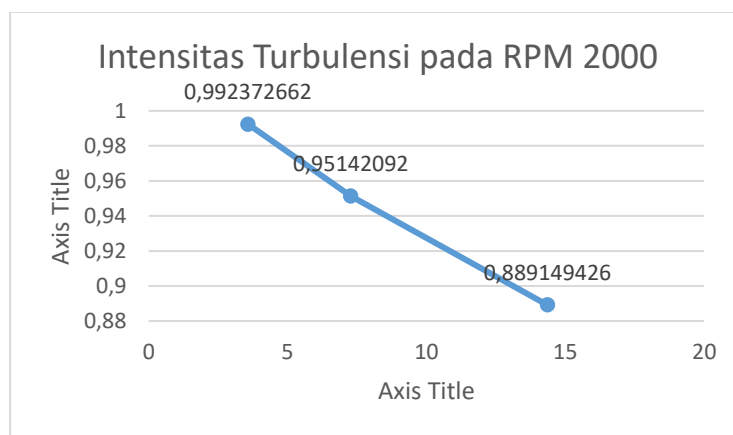


**Grafik 4.6 Rata-Rata Turbulen Pada RPM 2200**

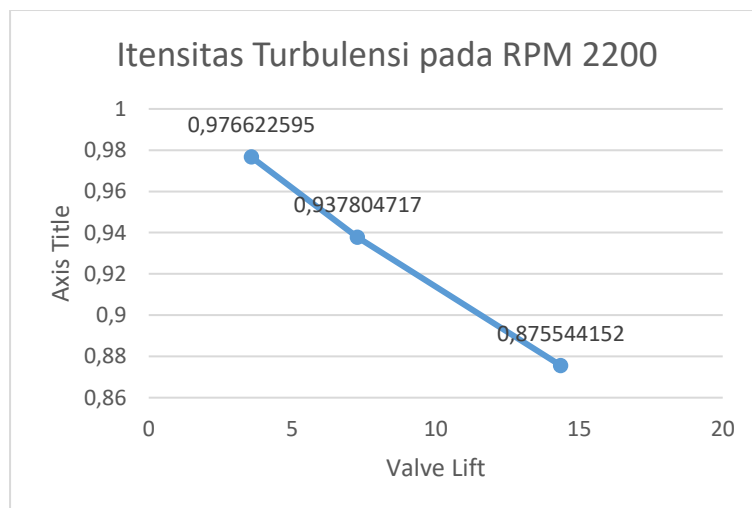
Hasil dari grafik jelas menunjukkan bahwa rata-rata turbulensi energi kinetik hasil simulasi cukup meningkat dengan bukaan valve. Yang merupakan energi kinetik tertinggi rata-rata pada bukaan katup intake 10.56 dengan 11478 J / kg pada RPM 2000 dan pada RPM 2200 dengan Valve lift 10.56 endapatkan nilai . Sebaliknya, kecepatan rata-rata terendah adalah katup dengan bukaan 14.56 mm dengan 9713 J / kg . Sebagai perbandingan, kecepatan rata-rata pada 4 katup intake adalah 10927.8 J / kg dalam 3.64mm dan 11003.8 J / kg pada 7.28 mm dan 11478 J/ kg dalam 10.92 mm dan 9713 J/kg pada 14.56 mm pada RPM 2200. Dan 8467.4 J / kg dalam 3.64mm dan 9316 J / kg pada 7.28 mm dan 9464.5 J/ kg dalam 10.92 mm dan 9113 J/kg pada 14.56 mm pada RPM 2000

#### 4.1.3 Intensitas Turblensi Yang dapat Terjadi di Tiap Tiap Bukaan

Dari hasil siulasi di dapatkan intensitas turbulensi Pada RPM 2000 dan 2200



**Grafik 4.7 Intensitas Turblensi pada RPM 2000**

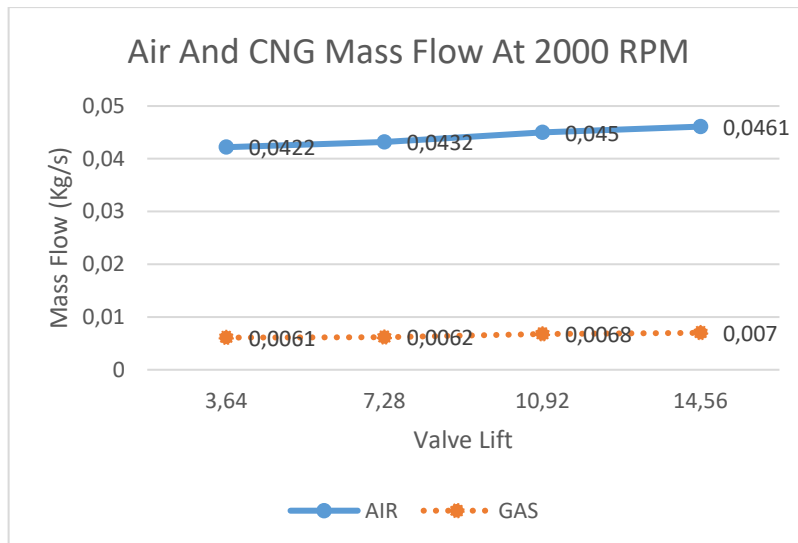


**Grafik 4.8 Intensitas Turblensi pada RPM 2200**

Dari hasil simulasi nilai intensitas turbulensi semua nilai melebihi 4000, artinya semua kondisi bukaan mengalami turbulensi. Nilai turbulensi tertinggi adalah pada bukaan valve 3.64 mm dengan nilai 6891 pada 2200 RPM.

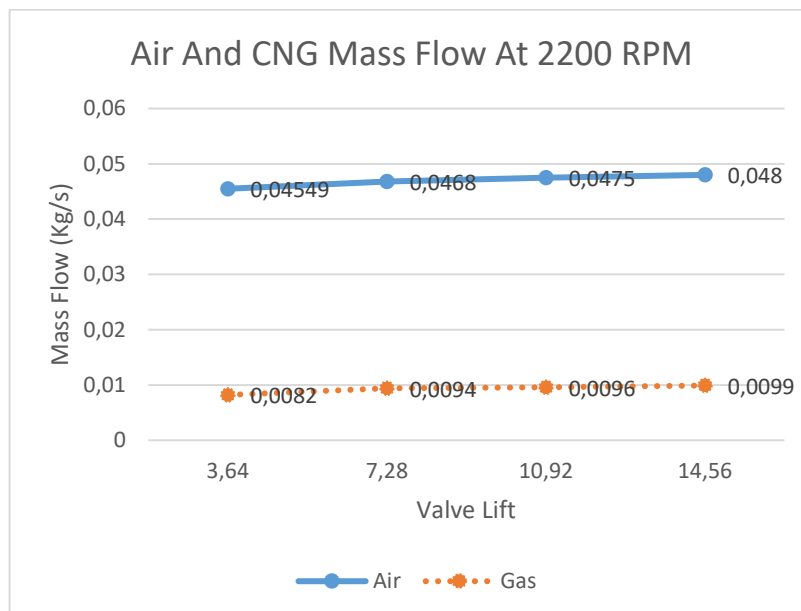
#### 4.1.4 Massa Udara dan Bahan Bakar

Hasil simulasi pada 2000 RPM dapat di gambarkan sebagai grafik berikut:



**Grafik 4.9 Massa Aliran Udara dan Bahan Bakar pada RPM 2000**

Hasil Simulasi Pada 2200 RPM



**Grafik 4.10 Massa Aliran Udara dan Bahan Bakar pada RPM 2200**

Dari grafik diketahui bukaan valve mempengaruhi massa aliran udara dan bahan bakar yang masuk ke chamber. Semakin dalam bukaan valve maka massa udara yang masuk akan semakin tinggi pula. Massa udara memiliki nilai terbesar pada bukaan valve 14.56 mm dengan massa aliran udara 0.048 kg/s dan Gas pada 0.0099 kg/s .

*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*



## **BAB V**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **5.1 Kesimpulan**

1. Kecepatan udara maksimal dan massa aliran udara pada bukaan valve lift 3.64 mm pada RPM 2000 sebesar 177 m/s dan 0.0422 kg/s udara dan 0.0061 kg/s CNG, RPM 2200 sebesar 190.282 m/s dan 0.0464 kg/s udara dan 0.0082 kg/s CNG pada bukaan valve 7.28 mm pada RPM 2000 sebesar 173.598 m/s dan 0.0432 kg/s udara dan 0.0062 kg/s CNG, pada bukaan valve 7.28 mm pada RPM 2200 sebesar 184 m/s dan 0.0468 kg/s udara dan 0.0094 kg/s CNG , pada bukaan valve 10.92 mm pada RPM 2000 sebesar 165.79 m/s dan 0.045 kg/s udara dan 0.0068 kg/s CNG, pada bukaan valve 10.92 mm pada RPM 2200 sebesar 175.39 m/s dan 0.0475 kg/s udara dan 0.0096 kg/s CNG. pada bukaan valve 14.56 mm pada RPM 2000 sebesar 160 m/s dan 0.0461 kg/s udara dan 0.007 kg/s CNG, pada bukaan valve 14.56 mm pada RPM 2200 sebesar 163.436 m/s dan 0.047 kg/s udara dan 0.0099 kg/s CNG. Sehingga kecepatan dan turbulensi tertinggi terjadi pada bukaan valve 10.92 mm dan massa udara terbanyak pada bukaan valve 14.56 mm.
2. Kombinasi bukaan valve paling tepat adalah default bukaan 10.92 mm yang mana 1,5 x bukaan valve pada 7.28 mm. Karena pada bukaan valve 10.92 mm memiliki massa aliran udara tinggi diantara bukaan valve lainnya dan memiliki .tingkat turbulensi yang tertinggi. Sehingga pada saat Udara dan bahan bakar masuk akan tercampur lebih maksimal pada bukaan ini.

#### **5.2 Saran**

1. Perlu dilakukan analisa mendalam atau praktikum untuk mendapat nilai yang lebih akurat.
2. Perlu adanya analisa 2D sebelum menganalisa ke dalam bentuk 3D agar mengetahui pola.



*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*

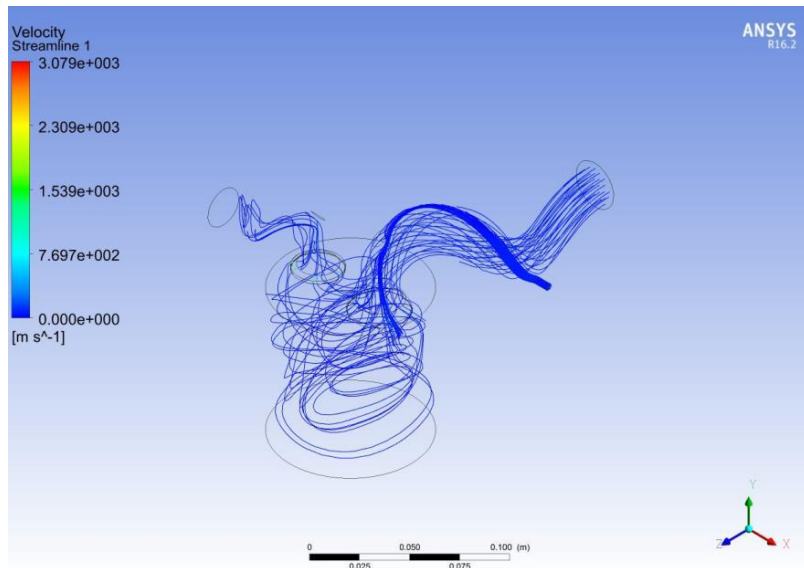
## DAFTAR PUSTAKA

- Bag, L. (2008) 'A Technical Review of Compressed Natural Gas as an Alternative Fuel for Internal Combustion Engines Semin , Rosli Abu Bakar Automotive Excellent Center , Faculty of Mechanical Engineering ', 1(4), pp. 302–311.
- Cahyono, B. and Bakar, R. (2015) 'ScienceDirect Air-fuel mixing and fuel flow velocity modeling of multi holes injector nozzle on CNG marine engine', *Procedia Earth and Planetary Science*. Elsevier B.V., 14, pp. 101–109. doi: 10.1016/j.proeps.2015.07.090.
- Ghadikolaie, M. A. (2014) 'Effect of Cylinder Air Pressure and Fuel Injection Pressure on Combustion Characteristics of Direct Injection ( DI ) Diesel Engine Fueled with Diesel and Gasoline', *International Journal of application or innovation in Engineering & Management (IJAIEM)*, 3(1), pp. 234–241.
- Halderman, J. D. *et al.* (2006) 'Camshafts, Valve Trains, Intake and Exhaust Systems', *Automotive Technology: Principles, Diagnosis, and Service.*, pp. 170–198.
- Haris Perlman, H. (1993) 'United States Patent', 1(12), pp. 3–5. doi: Jan, 28, 1997.
- Kurniawan, W. H. *et al.* (2007) 'CFD Investigation of Fluid Flow and Turbulence Field Characteristics in a Four-Stroke Automotive Direct Injection Engine', *Journal - The Institution of Engineers*, 69(1), pp. 1–12.
- Lancefield, T. *et al.* (2000) 'The application of variable event valve timing to a modern diesel engine', *SAE World Congress & Exhibition*. doi: 10.4271/2000-01-1229.
- Liu, K. *et al.* (2016) 'Effect of asynchronous valve timing on combustion characteristic and performance of a high speed SI marine engine with five valves', *Energy Conversion and Management*. Elsevier Ltd, 123, pp. 185–199. doi: 10.1016/j.enconman.2016.06.042.
- Nigro, A. *et al.* (2017) 'Fluid dynamic investigation of innovative intake strategies for multivalve internal combustion engines', *International Journal of Mechanical Sciences*. Elsevier Ltd, 123(January), pp. 297–310. doi: 10.1016/j.ijmecsci.2017.02.018.
- Pulkrabek, W. W. (2013) 'Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), pp. 1689–1699. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Raghu, M. and Mehta, P. S. (1999) 'Influence of intake port design on diesel engine air motion characteristics', *Indian Journal of Engineering and Materials Sciences*, 6(2), pp. 53–58.
- Semin and Bakar, R. A. (2008) 'Study of Fuel Injection Pressure Effect on Performance and Fuel Consumption of Diesel Engine Based on Load and Engine Speed', *International Journal of Applied Engineering Research*, 3(2), pp. 229–240.

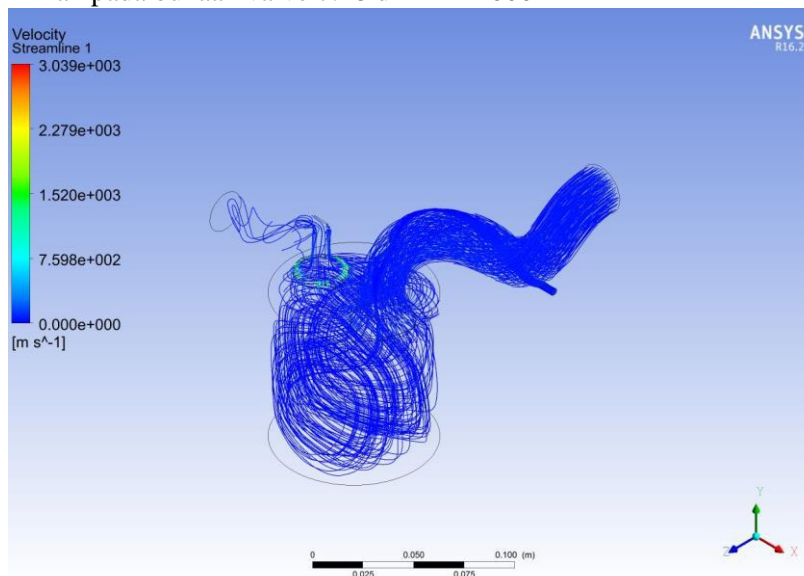
- Semin, Bakar, R. A. and Ismail, A. R. (2008) 'Computational visualization and simulation of diesel engines valve lift performance using CFD', *American Journal of Applied Sciences*, 5(5), pp. 532–539.
- Stone, R. (1989) 'Introduction to Internal Combustion Engines', *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53, p. 160. doi: 10.1017/CBO9781107415324.004.
- Sulistiyani, P. and Paramita, S. (2015) 'Media Pembelajaran Menggunakan Spreadsheet Excel Untuk Materi Osilasi Harmonik Teredam', *Prosiding Seminar Nasional Fisika dan Pendidikan Fisika (SNFPF) Ke-6 2015*, 6, pp. 263–269.
- Wang, T. *et al.* (2015) 'An investigation into in-cylinder tumble flow characteristics with variable valve lift in a gasoline engine', *Flow, Turbulence and Combustion*, 94(2), pp. 285–304. doi: 10.1007/s10494-014-9562-4.
- Yadav, J. and Ramesh, A. (2018) 'Injection strategies for reducing smoke and improving the performance of a butanol-diesel common rail dual fuel engine', *Applied Energy*. Elsevier, 212(December 2017), pp. 1–12. doi: 10.1016/j.apenergy.2017.12.027.

## LAMPIRAN

1. Aliran pada bukaan valve 3.64 di 2000 RPM

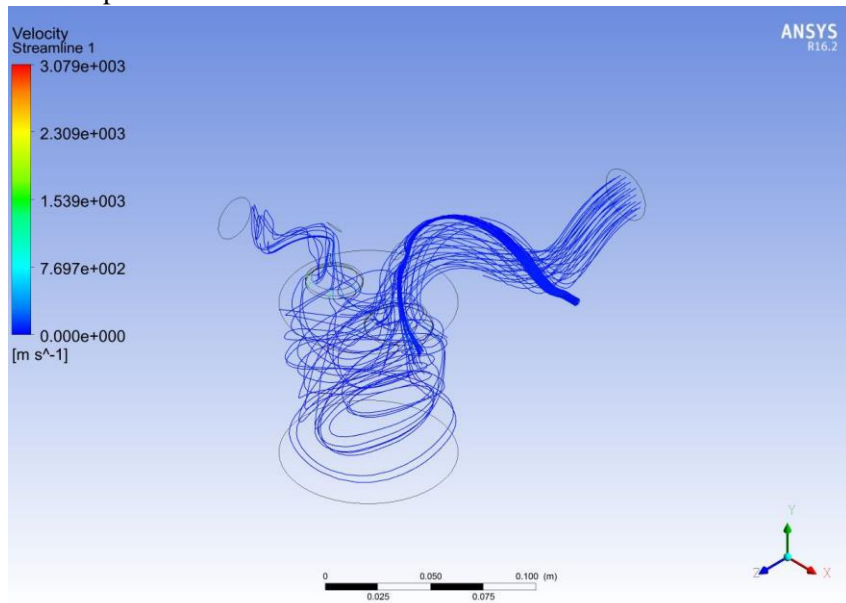


2. Aliran pada bukaan valve 7.28 di RPM 2000

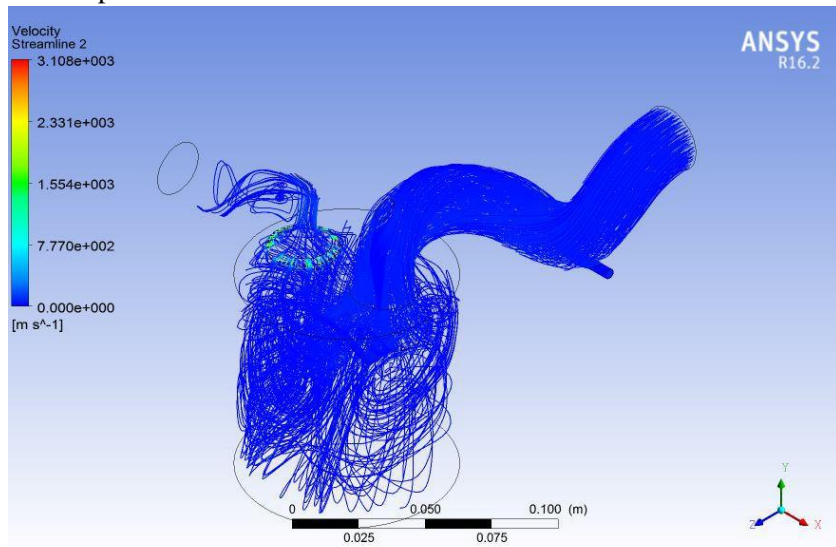


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 3. Aliran pada bukaan valve 10.92 RPM 2000

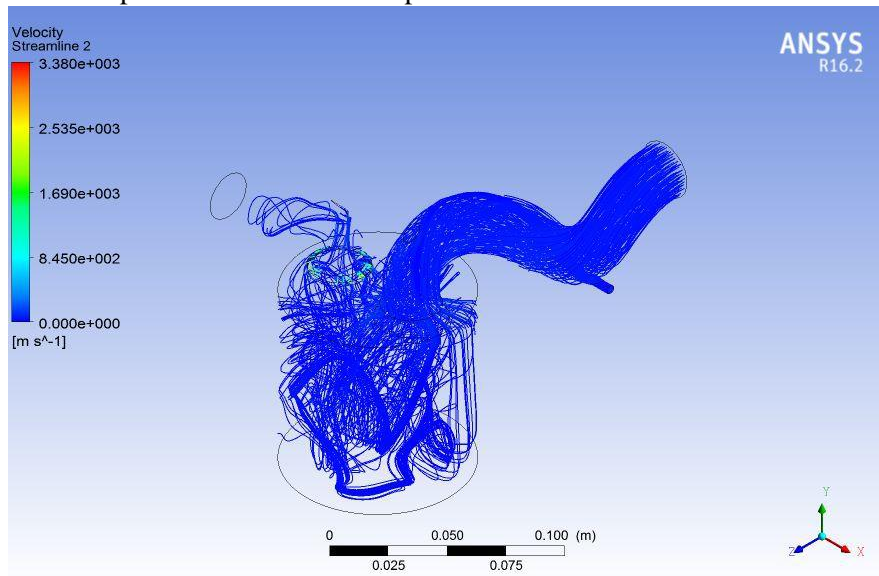


## 4. Aliran pada bukaan valve 14.56 di 2000 RPM

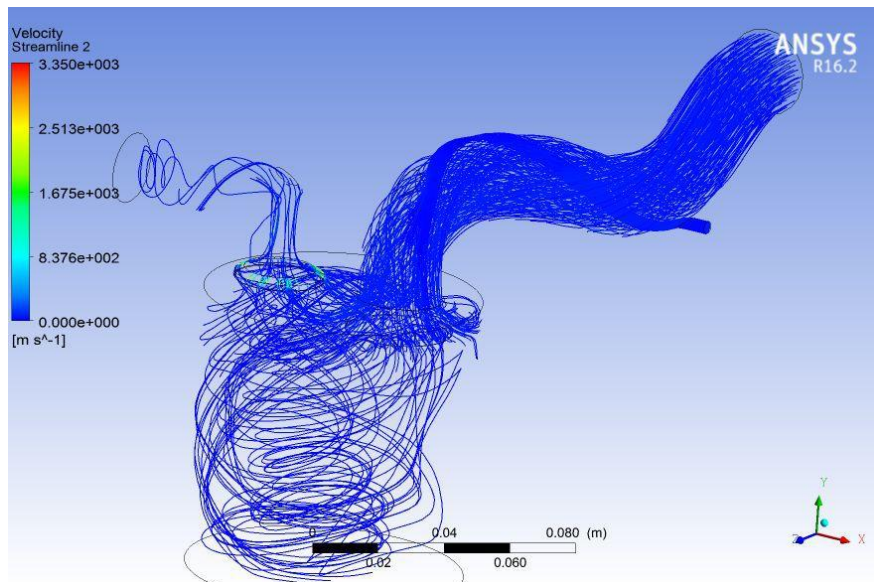


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 5. Aliran pada bukaan valve 3.64 pada 2200 RPM



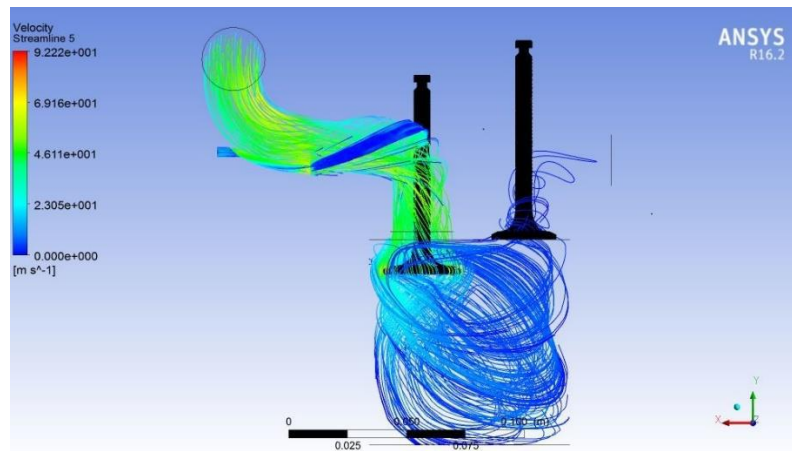
## 6. Aliran pada bukaan valve 7.28 RPM 2200



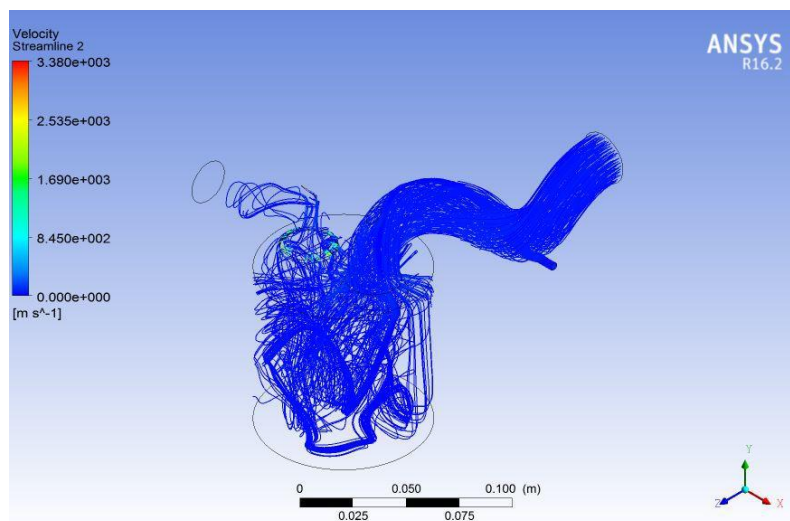


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 7. Aliran pada bukaan valve 10.92 RPM 2200

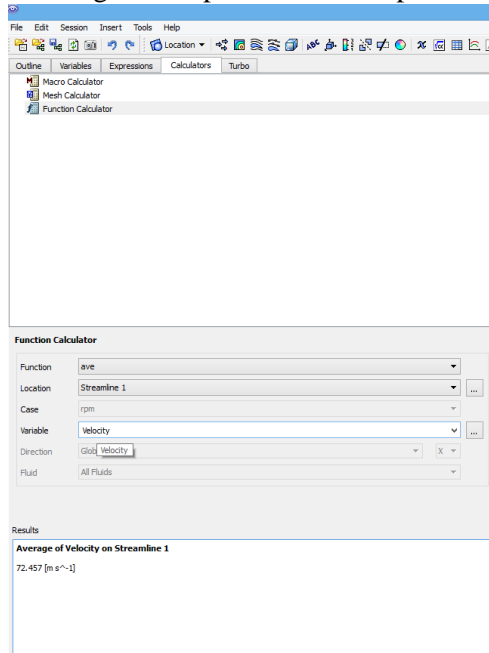


## 8. Aliran pada bukaan valve 14.56 RPM 2000

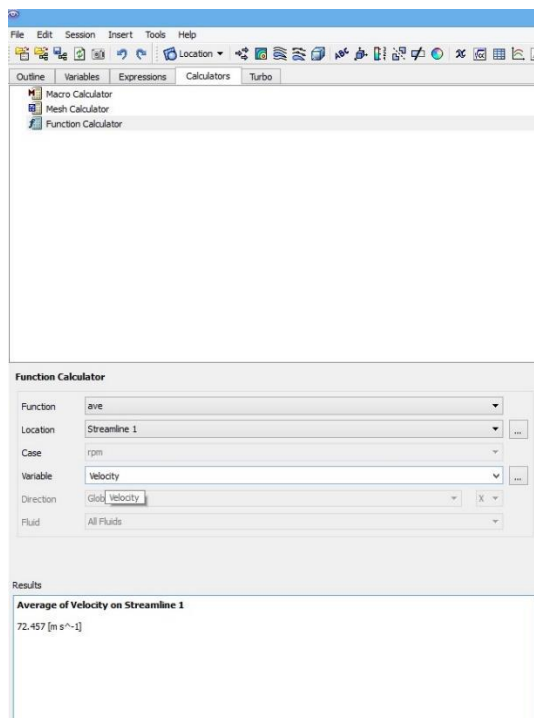


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 9. Perhitungan Kecepatan Rata Rata pada bukaan Valve 3.64 RPM 2000

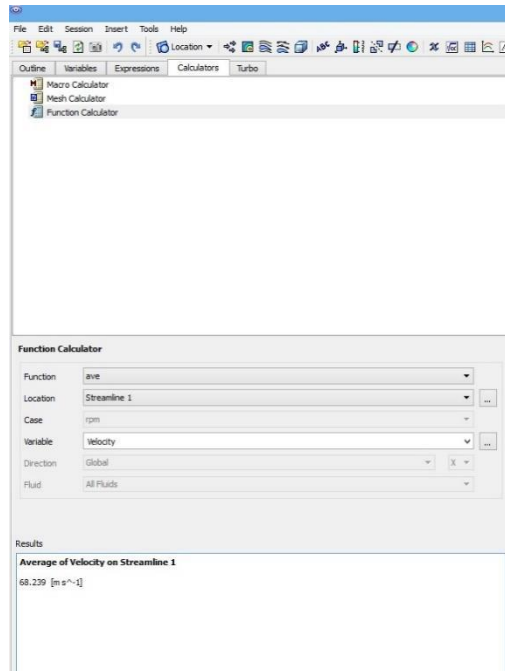


## 10. Perhitungan Kecepatan Rata Rata pada bukaan Valve 7.28 RPM 2000

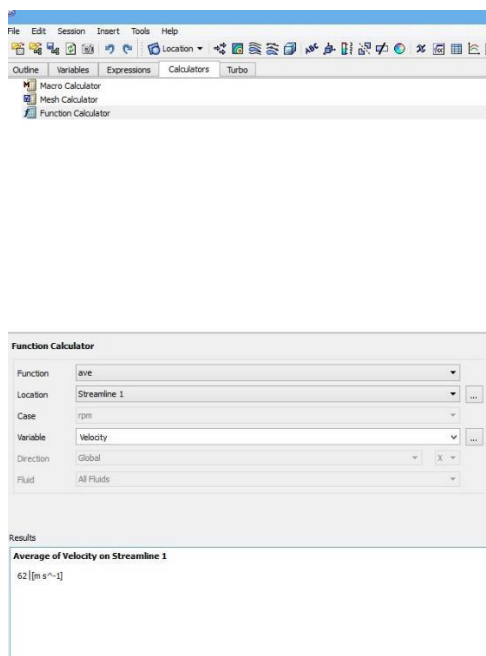


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 11. Perhitungan Kecepatan Rata Rata pada bukaan Valve 10.92 RPM 2000

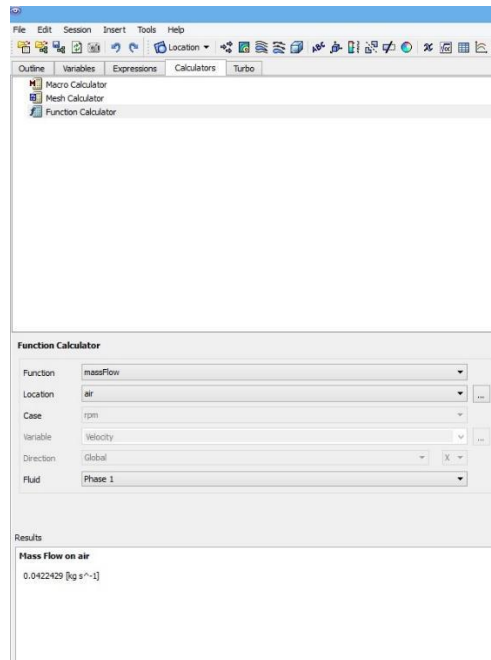


## 12. Perhitungan Kecepatan Rata Rata pada bukaan Valve 10.92 RPM 2000

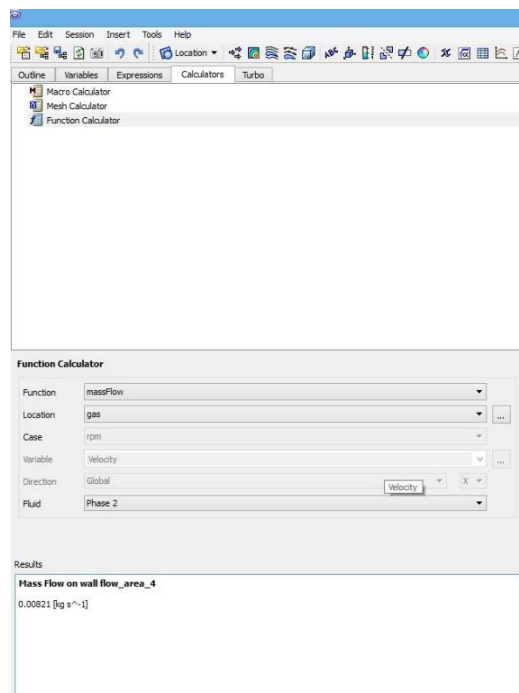


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 13. Perhitungan Mass Flow Udara pada bukaan Valve 3.56 RPM 2000



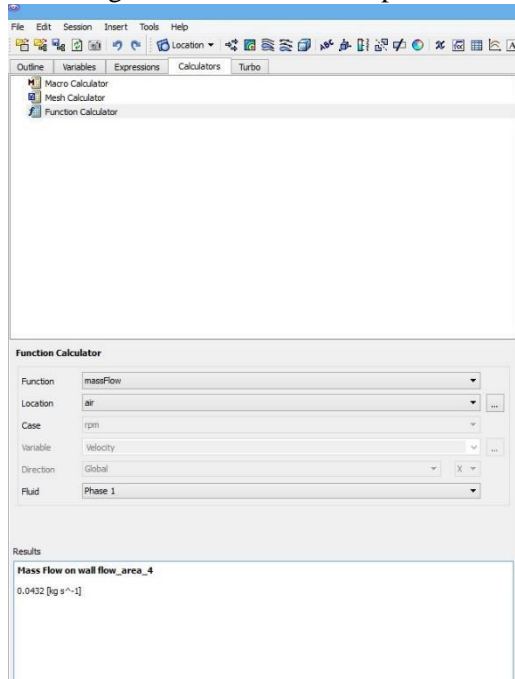
## 14. Perhitungan Mass Flow pada bukaan Valve 3.56 RPM 2200



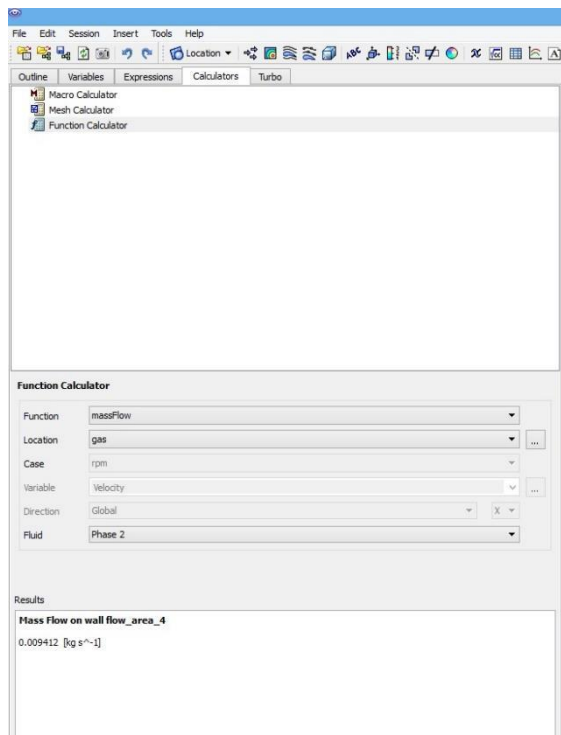


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 15. Perhitungan Mass Flow Udara pada bukaan Valve 7.28 RPM 2000

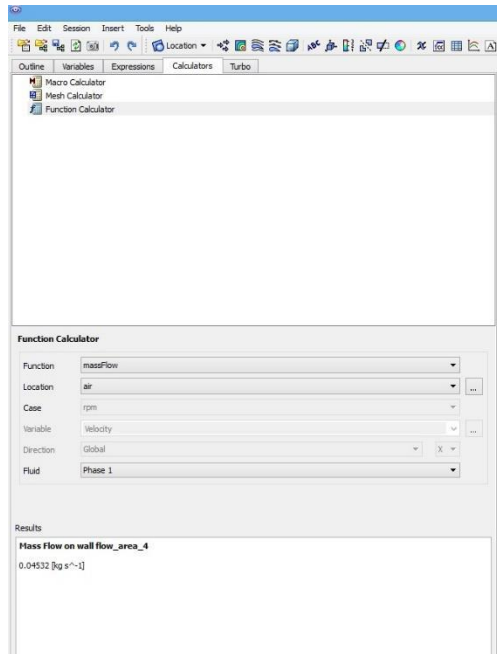


## 16. Perhitungan Mass Flow Udara pada bukaan Valve 7.28 RPM 2200

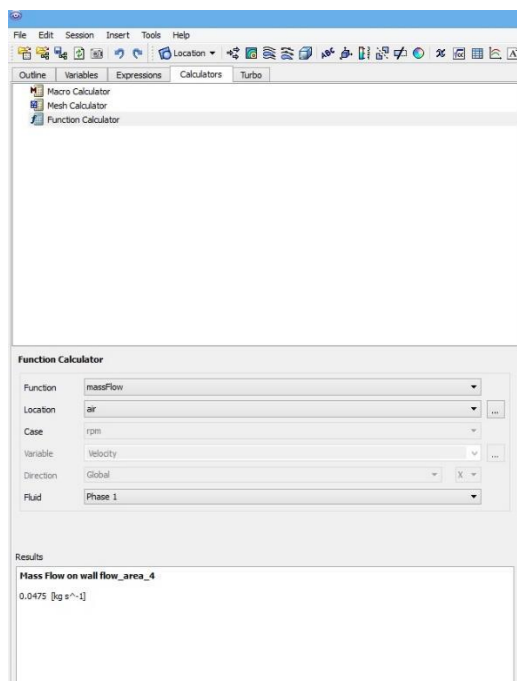


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 17. Perhitungan Mass Flow Udara pada bukaan Valve 10.92 RPM 2000

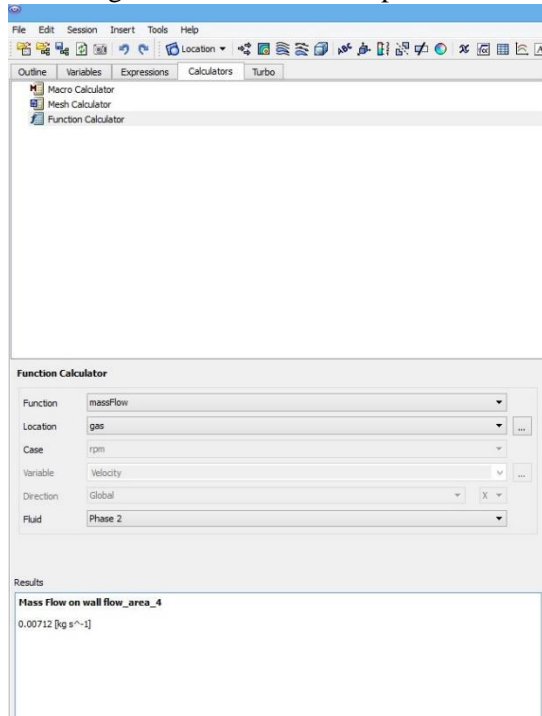


## 18. Perhitungan Mass Flow Udara pada bukaan Valve 10.92 RPM 2200

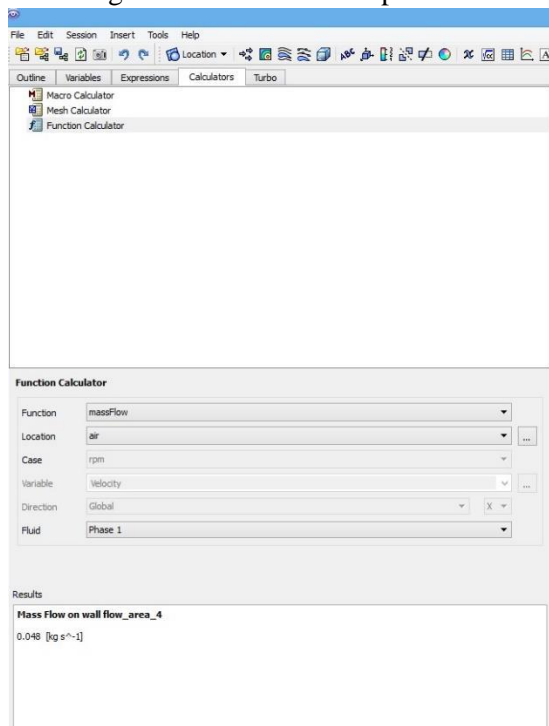


*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## 19. Perhitungan Mass Flow Udara pada bukaan Valve 14.56 RPM 2000



## 20. Perhitungan Mass Flow Udara pada bukaan Valve 14.56 RPM 2200



*“Halaman ini sengaja dikosongkan”*

## BIODATA PENULIS



Penulis bernama AA, merupakan putra nomor 1 dari 2 bersaudara. Ayah dari penulis bernama Zaenal Muchodim dan Ibu dari penulis bernama Sri Sumarlik. Lahir pada tanggal 20 Mei 1992, di Kabupaten Tulungagung, Jawa Timur. Penulis telah menyelesaikan jenjang pendidikan formal dasar di SD Negeri Sukodono II Tulungagung, jenjang menengah pertama di Pondok Modern Drussalam Gontor, jenjang menengah atas di Pondok Modern Darussalam Gontor, dan melanjutkan pendidikan tinggi di Departemen Teknik Sistem Perkapalan Program Reguler, Fakultas Teknologi Kelautan, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya di bidang *Marine Power Plant* (MPP). Penulis pernah menjalankan *on the job training* di beberapa perusahaan yaitu PT. Daya Radar Utama Unit Lamongan dan PT. Pelita Samudera Jaya, Surabaya. Selain aktivitas akademik, penulis berpengalaman dan aktif tergabung dalam beberapa aktivitas organisasi dan unit kegiatan mahasiswa. Penulis pernah bergabung dalam Unit Kegiatan Mahasiswa *Marine Icon* 20015, 2016, dan 2017 HIMASISKAL ITS, serta menjadi koordinator laboratorium RAMS. Selain itu, penulis aktif dalam mengikuti kegiatan pengembangan *softskills* seperti Latihan Keterampilan Manajemen Mahasiswa Pra Tingkat Dasar dan Tingkat Dasar, Penulis dapat dihubungi melalui [rhaanzah@gmail.com](mailto:rhaanzah@gmail.com).



*“Halaman Ini Sengaja Dikosongkan”*